

REPOBLIKA DEMOKRATIKA MALAGASY

**MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT RURAL
ET DE LA RÉFORME AGRAIRE**

PROJET BLÉ

**LE MILIEU PHYSIQUE
DE LA RÉGION VOLCANIQUE
ANKARATRA - VAKINANKARATRA - ITASY
(MADAGASCAR)**

**APTITUDES A LA CULTURE
DU BLÉ PLUVIAL**

**M. RAUNET
1981**

I.R.A.T.

**INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
TROPICALES ET DES CULTURES VIVRIÈRES**

PÉDOLOGIE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : LE CLIMAT	3
I. CARACTERISTIQUES GENERALES	3
1. Pluviosité et régimes pluviométriques	3
2. Régimes thermiques	6
3. Ensoleillement - Durée du jour	9
4. Hygrométrie	10
5. Evapotranspiration potentielle	11
II. APTITUDE DU CLIMAT DE LA REGION DE L'ANKARATRA A LA CULTURE DU BLE PLUVIAL	12
1. Conditions communes à toute la région	12
2. Conditions particulières liées à l'exposition et à l'altitude	13
3. Conclusions	16
DEUXIEME PARTIE : LA GEOLOGIE	17
I. CHRONOLOGIE DES EPISODES VOLCANIQUES ET TECTONIQUES	17
1. Le volcanisme ancien	18
2. Le volcanisme récent	20
3. Le volcanisme très récent	21
II. LITHOLOGIE	21
1. Les roches basiques	22
2. Les roches acides	24
3. Les sédiments volcano-lacustres	24
TROISIEME PARTIE : LES SOLS	26
I. LES SOLS FERRALLITIQUES "ROUGES" SUR ROCHES BASIQUES ANCIENNES	29
II. LES SOLS FERRALLITIQUES "ROUGES" ET "OCRE-JAUNES" SUR ALLUVIONS VOLCANO-LACUSTRES	32
III. LES SOLS FERRALLITIQUES "BRUNS" HUMIFERES SUR VOLCANISME ANCIEN	34
IV. LES SOLS FERRALLITIQUES "CHOCOLAT" SUR ROCHES BASIQUES QUATERNAIRES	37
V. LES ANDOSOLS PERHYDRATES MELANIQUES (SOLS "NOIRS") SUR VOLCANISME ANCIEN	40
VI. LES ANDOSOLS PEU DIFFERENCIES SUR PROJECTIONS VOLCANIQUES TRES RECENTES	44
QUATRIEME PARTIE : APTITUDES DES TERRES AU BLE PLUVIAL	48
I. APTITUDES DES TERRES EN FONCTION DU SEUL FACTEUR SOL	48
II. APTITUDES DES TERRES EN FONCTION DES FACTEURS CLIMATIQUES ET TOPOGRAPHIQUES	49
III. INFLUENCE DE L'OCCUPATION ACTUELLE DES TERRES	54
CONCLUSIONS GENERALES	57
BIBLIOGRAPHIE	59
ANNEXES : DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE SOLS	

INTRODUCTION

Dans une étude précédente, nous avons apprécié les possibilités de culture du blé sur les Hautes-Terres malgaches, en contre-saison dans les bas-fonds, après la culture du riz. Nous avons évalué à 300 000 hectares les bas-fonds et plaines alluviales cultivables en blé sans irrigation entre 1000 et 1700 mètres d'altitude, entre Ankazobe et Ambalavao. Ce potentiel cultivable en contre-saison dans des conditions climatiques, hydriques, phytopathologiques et foncières très favorables, permettrait d'alimenter largement la future minoterie d'Antsirabe (capacité 50 000 tonnes) qui sera opérationnelle début 1982. Cependant, la dispersion des surfaces et leur éloignement de la minoterie peuvent être des inconvénients pour la commercialisation.

Un autre type de culture peut également être envisagé sur les Hautes-Terres : le blé cultivé en saison pluviale en altitude. Les conditions de cultures, très différentes de celles de saison sèche, sont cependant plus classiques car elles existent dans de nombreuses régions tropicales d'altitude (Mexique, Ethiopie, Kenya, Cameroun...). Dans une certaine mesure les expériences acquises dans ces pays pourraient être utilisées avec profit à Madagascar, où la culture pluviale ne peut s'envisager, pour des raisons climatiques, qu'au dessus de 1500 mètres d'altitude, ce qui représente environ 19 000 km² sur les Hautes-terres (voir fig.1). D'autre part, le blé étant une culture exigeante il ne faudra retenir que les sols dont la fertilité potentielle est la moins mauvaise possible, c'est à dire les sols développés sur roches volcaniques. En effet les sols ferrallitiques fortement désaturés sur roches cristallines sont toujours très pauvres et ne sont pas compatibles avec l'obtention de bons rendements en blé. Seules les régions Tsaratanana-Ankaizina (2200 km²) au Nord et Ankaratra (3200 km²) au centre sont constituées de roches volcaniques et sont situées au dessus de 1500 mètres. Ce sont donc les deux zones susceptibles de convenir le mieux au blé pluvial.

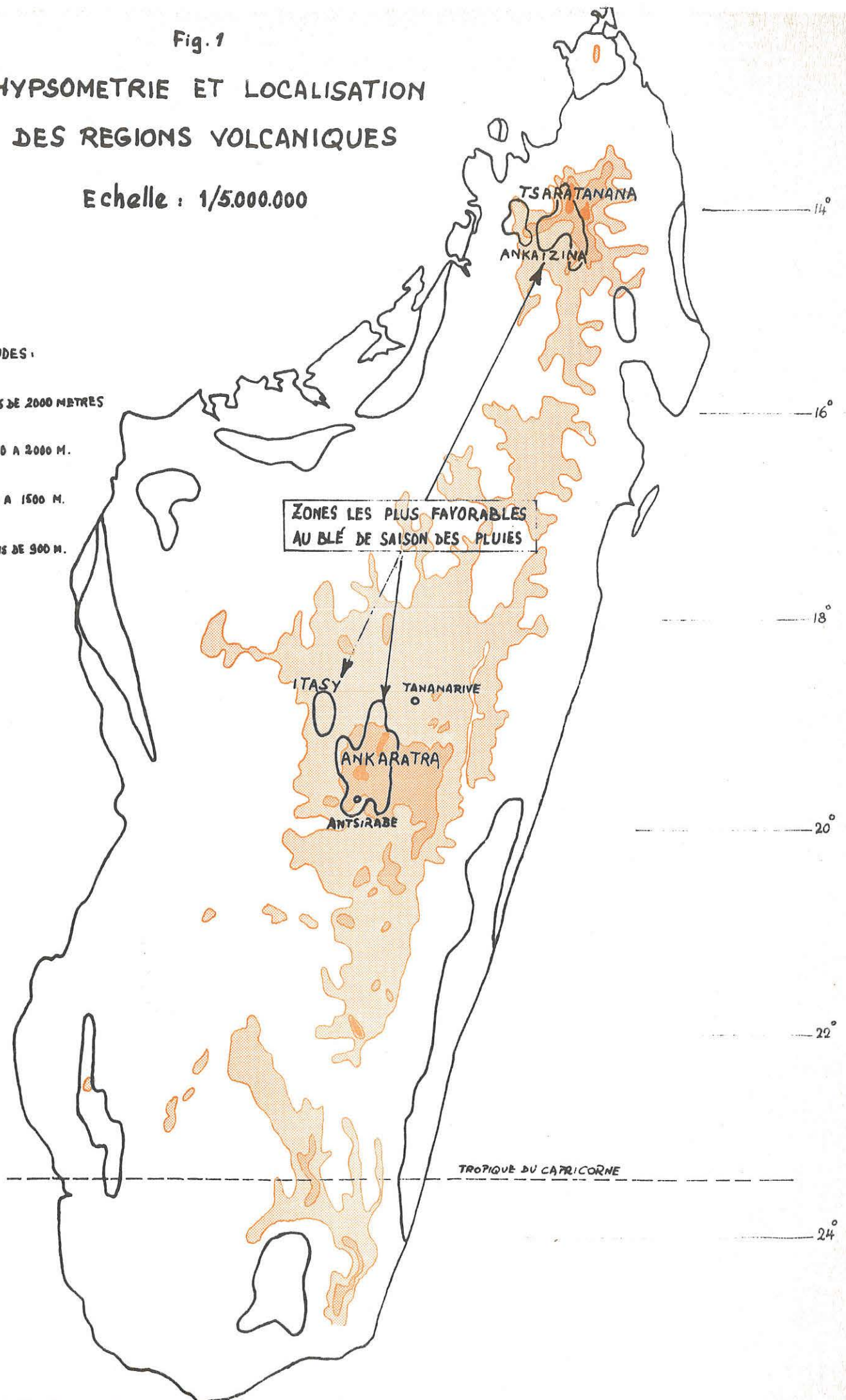
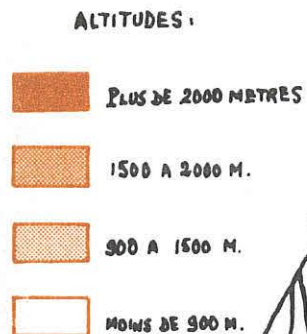
Enfin, des considérations de disponibilité en terres, de modelé, de facilités d'accès et surtout de proximité de l'usine nous incitent à rechercher les zones les plus aptes au blé dans la région de l'Ankaratra et ses pourtours. Nous verrons que la superficie convenant au blé dans cette zone (sols, modelé des terres) peut être évaluée à 200 000 hectares. Pour des raisons d'occupation des terres par d'autres cultures, il ne faut guère espérer avoir plus de 90 000 hectares disponibles pour le blé. Cette superficie sera capable théoriquement d'alimenter 1/3 de la capacité de la minoterie. Comme nous l'avons déjà mentionné, le blé de contre-saison semble être plus intéressant et avoir plus d'avenir que le blé de saison ; il sera donc inutile de vouloir mettre en valeur en saison des pluies des zones plus défavorables : éliminer les sols sur socle cristallin, les zones situées en dessous de 1500 mètres (sauf exception en cas de sols excellents, comme

.../...

Fig. 1

HYPSOMETRIE ET LOCALISATION DES REGIONS VOLCANIQUES

Echelle : 1/5.000.000



dans l'Itasy), les régions éloignées et d'accès difficile (Tsaratanana - Ankaizina) du moins dans un premier temps.

Nous consacrerons donc cette étude au massif de l'Ankaratra et à ses bordures : Itasy, Vakinankaratra, Bassins lacustres d'Antanifotsy et d'Antsirabe, "plateau" de Soanindrariny, représentant environ 380 000 ha.

L'étude de terrain a durée 1 mois 1/2 et a eu lieu en Mai-Juin 1980, période pendant laquelle le blé pluvial des essais FOFIFA-GOPR était en cours de récolte ; l'observation de ces blés en fin de maturation a été très instructive en mettant en évidence certains facteurs limitants.

C L I M A T

I - CARACTERISTIQUES GENERALES

Comme le reste des Hautes Terres, l'Ankaratra et sa périphérie (entre 18°50 et 19°50 latitude Sud) subissent l'alternance d'une saison chaude et humide (Novembre à Avril) et d'une saison fraîche et sèche (Mai à Octobre). Ce régime climatique est conditionné par l'arrivée en saison chaude de masses d'air humide en provenance du Nord-Ouest. Il s'agit du flux de mousson issu du continent asiatique qui, en franchissant l'équateur change de direction, d'où son nom de "*mousson du Nord-Ouest*". En saison fraîche se sont les *alizés* du Sud-Est, en provenance de l'anticyclone du Sud-Ouest de l'Océan Indien qui frappent l'Est de Madagascar et qui y déchargent une bonne partie de leur humidité. Cet anticyclone peut être actif en saison chaude ; son contact avec les basses pressions du NW se fait par une zone de convergence intertropicale (C.I.T.) qui engendre des orages en fin d'après-midi.

Enfin s'ajoutent parfois pendant la saison chaude des cyclones qui traversent l'île d'Est en Ouest.

A ce régime tropical austral, se combinent dans l'Ankaratra les effets de l'*altitude* (diminution des températures), et les effets résultant de la *position sub-méridienne du massif*. Les hauts reliefs, situés à plus de 2500 mètres d'altitude forment une longue échine N-S sur environ 50 km, dans l'axe des Hauts-Plateaux. L'Ankaratra constitue donc un *obstacle perturbateur* pour les masses d'air humides, (spécialement les alizés) qui subissent une forte *ascendance orographique* génératrice de grosses précipitations et d'orages. On observera une très nette *dissymétrie climatique*, concernant surtout les régimes pluviométriques, entre le versant occidental et le versant oriental du massif de l'Ankaratra. En saison chaude et humide, le versant Est est beaucoup moins intéressé par la mousson du NW que le versant Ouest. Inversement, en saison fraîche et sèche, les pentes orientales sont plus marquées par l'alizé humide de l'Est (pluies fines) que les pentes occidentales qui sont réchauffées et dégagées de toute nébulosité par l'effet de *foehn* dû à la redescende de cet alizé.

Enfin les effets de l'orographie chahutée de l'Ankaratra, spécialement au Sud, au Sud-Ouest et à l'Ouest de la longue crête sommitale (cuvettes encastrées par de hauts reliefs, ensembles montagneux isolés, grandes vallées encaissées) sont propices à l'instabilité des masses d'air chaudes et humides, responsables de très nombreux et violents *orages*, composante importante du climat de cette région.

1. PLUVIOSITE ET REGIMES PLUVIOMETRIQUES

La plus grosse partie des pluies tombe, quel que soit l'endroit, entre le 15 Octobre et le 15 Avril. Les 4 mois les plus pluvieux sont Décembre - Janvier - Février - Mars. C'est en Décembre que tombent les

	Altitude	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
BETAFO	1402	316	247	248	49	30	12	14	13	22	72	154	290	1467
ARIVONIMAMO	1450	299	267	236	58	20	10	10	7	18	54	156	313	1438
ANTSIRABE	1506	293	241	218	77	30	12	17	15	23	77	158	268	1429
AMBATOLAMPY	1555	331	291	279	82	42	16	22	22	23	60	178	279	1625
ANTANIFOTSY	1560	297	157	182	38	14	16	26	27	36	40	125	303	1261
SOAVINANDRIANA	1575	449	379	270	88	26	12	14	9	26	75	191	408	1947
AMBOHIMANDROSO	1600	300	151	180	40	12	15	27	27	37	39	120	312	1260
TSINJOARIVO	1640	280	205	195	60	30	20	26	30	15	35	150	300	1346
AMBOHIBARY	1658	288	266	226	92	38	24	28	17	31	74	174	287	1545
FARATSIHO	1750	399	336	313	109	32	13	19	14	28	101	195	352	1911
SOANINDRARINY	1800	300	160	182	40	18	20	31	30	40	45	128	310	1304
MANJAKATOMPO (Station forestière)	1806	362	322	386	106	55	28	30	40	40	96	211	329	2005
ANTSAMPANDRANO (Station forestière)	1844	298	254	272	92	34	22	25	26	32	72	196	366	1689
NANOKELY	2100	351	290	272	94	28	13	16	13	30	92	182	293	1674

TABLEAU 1 : PLUVIOSITE MOYENNE DE QUELQUES STATIONS DE LA REGION DE L'ANKARATRA

plus fortes quantités d'eau par jour de pluviosité. La période la plus sèche va du 15 Mai au 15 Septembre. La pluviosité moyenne annuelle varie entre 1300 mm et 2500 mm (sur les sommets). Cette pluviosité ne dépend pas seulement de l'altitude mais également de l'orientation et de la proximité par rapport à de hauts reliefs. En effet, si, à altitude égale, on compare les moyennes des stations situées sur le versant Est et le versant Ouest, de part et d'autre de l'échine sommitale, on constate qu'il *pleut davantage à l'Ouest qu'à l'Est*. Ceci peut paraître surprenant, car l'ambiance atmosphérique est plus humide (précipitations occultes, forte nébulosité) et plus étalée dans l'année sur le côté oriental. Ce fait est confirmé par le maintien de lambeaux de forêt primitive, inexistants à l'Ouest. Les pluies sont en fait plus concentrées dans l'année et la saison sèche mieux ensoleillée et plus marquée sur la façade Ouest. Par exemple, il pleut davantage en 4 mois à Soavinandriana qu'en une année à Tsinjoarivo ; on fait la même constatation si l'on compare Faratsiho et Ambatolampy.

Cette dissymétrie s'explique par le fait que l'alizé qui parcourt la bande orientale des Hautes Terres, entre le sommet de l'escarpement de l'Angavo et la base (1600 m d'altitude) du massif proprement dit soit 60 km, s'est déjà déchargé d'une partie de son humidité sur les gradins successifs orientaux avant d'aborder les hauts plateaux. Dans cette bande orientale, l'alizé qui rencontre peu d'obstacle avant l'Ankaratra, est responsable de la chute d'environ 1300 mm annuels ; mais par contre, étant plus étalé dans l'année que la mousson du NW de l'autre côté, il entretient une ambiance humide constante, rosées, crachins, brouillards (surtout pendant la nuit et tôt le matin) qui se dissipent beaucoup plus lentement que sur le versant Ouest. Il est également responsable d'un ensoleillement plus faible que sur la façade Ouest. Cependant, à partir de 1600 mètres d'altitude environ, (Antanifotsy, Ambatolampy, Ambohimandroso ...), l'alizé aborde les fortes pentes de l'Ankaratra, il subit une ascendance orographique rapide jusqu'aux

crêtes du massif (2200 à 2643 mètres) où se forment de gros cumulus, et se dessaisit du restant de son humidité sur toutes les pentes orientales. A la station forestière de Manjakatampo (1806 mètres), seulement 12 km à l'Ouest d'Ambatolampy, il tombe déjà 2000 mm dans l'année. Au dessus de 2000 mètres d'altitude aucun relevé n'a été fait, mais il doit tomber entre 2000 et 2500 mm.

Après avoir passé les crêtes, les vents déchargés de leur humidité, redescendent rapidement avec des turbulences sur les pentes occidentales qu'ils rechauffent par effet de foehn. Ce foehn "nettoie" l'atmosphère et favorise un ensoleillement qui est nettement meilleur qu'à l'Est. C'est cette fois, la mousson du NW qui est responsable des précipitations. Contrairement aux versants Est où elles sont généralement d'une plus faible intensité mais tenaces, celles-ci ont toujours à l'Ouest, une *forte intensité* et sont assez brèves. De Novembre à Mars, les flux d'air humide de la mousson subissent une ascendance dès qu'elles rencontrent des reliefs (Itasy, Ankaratra) aux sommets desquels il se forme une cumulification rapide qui dégénère en violents orages. Cette ascendance de l'air génératrice de précipitations intenses, favorisée par l'orographie, est également amplifiée par le fort échauffement thermique pendant la journée (bon ensoleillement). Les cuvettes (Ambohibary-Sambaina, Faratsiho, Vinaninony) entourées de Hauts reliefs sont très favorables aux turbulences et à la thermo-convection qui provoquent les plus violents orages de fin d'après-midi. Les orages les plus forts ont lieu en début et en fin de saison chaude ; en Octobre-Novembre on en compte entre 15 et 25 par mois.

Les pluies d'orage sont violentes bien qu'elles soient de durée assez courte ; elles comptent beaucoup plus dans les totaux pluviométriques mensuels et annuels que les pluies fines apportées par l'alizé sur le versant Est ce qui explique cette dissymétrie de pluviosité entre les deux versants de l'Ankaratra.

L'intensité des averses d'orages de fin d'après midi (entre 16 et 19 heures en général) est toujours élevée. Les maxima pluviométriques en 24 heures (tableau 2) indiquent que les plus fortes intensités ont lieu en Décembre-Janvier-Février, avec une fréquence plus élevée semble t'il en Février.

	Altitude	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
BETAFO	1402	104	135	111	35	60	10	23	18	33	55	80	68	135
ARIVONIMAMO	1450	85	73	96	64	27	17	19	22	48	38	100	97	100
ANTSIRABE	1506	117	100	106	97	45	27	32	55	50	70	72	103	117
AMRATOLAMPY	1555	145	166	103	87	60	17	30	40	79	50	61	87	166
SOAVINANDRIANA	1575	188												188
TSINJOARIVO	1640	78	114	67	95	33	15	15	24	45	46	66	151	151
AMBOHIBARY	1658												101	101
FARATSIHO	1750	92	178	95	38	45	39	43	22	60	57	59	85	178
MANJAKATAMPO	1806	130	114	122	57	66	28	38	33	100	58	86	119	130
NANOKELY	2100	102	106	105	65	44	21	20	18	40	54	71	70	106

TABLAU 2 - MAXIMA PLUVIOMETRIQUES EN 24 HEURES SUR 22 ANS

(1936 - 1958)

80 % de ces maxima par 24 heures tombent en 3 heures. Par exemple à Faratsiho il est tombé 178 mm le 5 Février 1957, dont 162 mm de 16 h à 18 h, soit 80 mm par heure, intensités comparables à celles des régions sub-arides. Les pluies d'orage ont donc un fort pouvoir érosif, spécialement sur sols cultivés et sur pentes fortes supérieures à 12 %.

La grêle : La grêle est fréquente sur les Hauts-Plateaux en général et dans le massif de l'Ankaratra en particulier. Elle peut se manifester chaque mois. Elle est cependant assez rare de Mai à Septembre, mais elle est à craindre pendant le reste de l'année, spécialement d'Octobre à Décembre, les chutes étant les plus fréquentes en Novembre. Bien qu'un peu moins fréquentes en Avril-Mai elles causent cependant souvent de grands ravages au moment des récoltes. Les chutes de grêle peuvent durer 10 à 20 minutes ; le diamètre des grelons va de 2 à 10 mm, parfois même plus.

Sur 10 ans		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ANTSIRABE	Nombre de jours	11	8	4	10	1	6	0	3	5	35	47	20	150
	Fréquence	7	5	3	7	1	4	-	2	3	23	32	13	100
BETAFO	Nombre de jours	2	6	2	8	2	3	0	0	1	10	11	13	58
	Fréquence	3	10	3	14	3	5	-	-	2	17	21	22	100

TARLEAU 3 : GRELE A BETAFO ET A ANTSIRABE

2 - REGIMES THERMIQUES

L'effet de l'altitude est ici prédominant sur les moyennes. Mais il ne semble pas que l'altitude influe sensiblement sur les amplitudes diurnes. A partir de 1750 mètres la température moyenne annuelle diminue suivant un gradient moyen de 0,5° à 0,6° pour 100 mètres de dénivellation. A 1800 mètres, elle est de 15°, alors qu'à 2000 mètres elle est de 14°. Entre 1500 et 1750 mètres, la température moyenne annuelle varie entre 16°2 et 16°8. L'amplitude diurne varie entre 10°2 (Mars) et 14°6 (Octobre) à 1500 mètres. Pendant la saison chaude et humide les moyennes thermiques sont les plus élevées en Janvier et en Février, par contre les maxima moyens sont les plus élevés en Octobre-Novembre. En effet, au fur et à mesure qu'augmentent le pourcentage d'humidité atmosphérique et les pluies, les maxima diurnes baissent un peu, mais surtout les minima diurnes se relèvent (refroidissements nocturnes et du petit matin moins intenses). Les amplitudes diurnes sont donc plus élevées en Octobre-Novembre qu'en Janvier-Février-Mars (minima en Mars).

Entre les 2 versants de l'Ankaratra, la dissymétrie thermique est moins accusée que la dissymétrie pluviométrique, sauf pendant la saison sèche. En effet de Mai à Septembre, l'alizé par ses bruines et brouillards, rend la saison sèche plus fraîche sur le versant oriental au vent. Le versant occidental, sous le vent, bénéficie de la redescente de l'alizé desséché.

	Altitude		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
BETAFO	1402	Max Moy Min	25,3 20,4 15,5	25,0 20,2 15,8	24,6 19,8 15,0	24,2 18,4 12,6	22,1 15,8 9,5	21,0 13,8 6,6	20,6 13,2 5,8	21,3 13,9 6,5	23,5 16,0 8,5	25,4 18,2 11,0	25,9 19,5 13,1	25,3 20,2 15,1	23,8 17,5 10,1
ARIVONIMAMO	1450	Max Moy Min	25,0 20,2 15,3	25,0 20,1 15,1	24,5 19,7 14,9	24,1 18,6 13,1	21,9 16,2 10,5	20,3 14,5 8,6	19,7 13,9 8,0	20,7 14,5 8,3	22,8 16,2 9,6	25,1 18,3 11,4	25,8 19,7 13,5	25,2 20,0 14,8	23,6 17,7 11,8
ANTSIRABE	1506	Max Moy Min	25,2 19,4 13,6	25,8 19,7 13,5	24,5 18,8 13,1	24,3 17,4 10,5	22,1 14,5 6,8	20,8 12,7 4,5	20,1 12,4 4,7	21,5 13,2 4,8	23,8 14,8 5,8	25,9 17,2 8,4	26,2 18,7 11,2	25,4 19,3 13,2	23,3 16,6 10,4
AMBATOLAMPY	1555	Max Moy Min	24,9 18,8 12,7	25,2 18,7 12,2	24,0 18,1 12,2	24,1 17,2 10,2	21,6 14,9 8,2	20,0 13,4 6,7	19,6 13,2 7,0	19,7 13,1 6,5	22,3 15,0 7,7	24,4 16,9 9,3	23,7 17,3 10,9	24,8 18,3 11,8	22,9 16,2 9,6
SOAVINANDRIANA	1575	Max Moy Min	25,5 19,8 14,2	25,1 19,5 14,0	24,7 19,2 13,7	24,2 18,3 12,5	22,6 16,4 10,3	21,3 14,7 8,0	21,5 14,5 7,6	22,6 15,5 8,5	23,9 16,7 9,6	25,7 19,0 12,2	26,0 19,8 13,7	25,5 19,8 14,0	24,1 17,8 11,6
TSINJOARIVO	1640	Max Moy Min	25,0 19,2 13,1	24,8 18,2 11,6	23,5 17,5 11,5	24,1 17,3 10,5	21,0 14,1 7,2	20,5 13,2 5,9	19,0 13,1 7,0	19,3 13,2 7,1	22,0 15,0 8,0	23,0 16,3 9,0	24,7 18,0 11,3	24,7 18,5 12,3	21,9 16,2 10,7
AMBOHIBARY	1658	Max Moy Min	24,8 19,3 13,8	24,7 19,2 13,6	24,2 18,8 13,4	23,6 17,4 11,2	21,8 15,1 8,3	20,1 12,7 5,3	19,2 12,2 5,1	20,6 12,9 5,2	22,7 14,4 6,0	24,9 16,9 8,8	25,0 18,0 11,0	24,8 18,8 12,8	23,0 16,3 9,5
FARATSIHO	1750	Max Moy Min	23,7 18,7 13,7	23,3 17,8 12,2	23,6 17,8 11,9	23,6 17,0 10,3	21,8 15,1 8,4	20,7 14,0 7,3	20,0 13,2 6,4	21,5 14,3 7,1	23,4 15,9 8,3	24,6 17,6 10,6	24,4 18,3 12,1	23,9 18,4 12,9	22,9 16,5 10,1
SOANINDRANINY	1800	Max Moy Min	23,7 17,9 12,1	23,5 18,0 12,5	23,1 17,5 11,9	22,5 17,0 11,5	21,0 14,5 8,0	19,5 12,0 5,5	18,0 11,4 4,8	18,5 11,6 4,7	20,8 14,0 7,2	24,1 16,2 8,3	24,1 17,1 10,1	24,3 17,7 11,1	21,6 15,2 8,9
HANJAKATOMPO (Station forestière)	1806	Max Moy Min	23,8 17,9 12,0	23,8 17,5 11,2	23,2 17,6 11,9	22,6 16,4 10,2	20,5 14,0 7,4	18,5 12,3 6,0	18,3 11,9 5,5	19,0 12,4 5,8	20,8 13,9 6,9	24,0 16,3 8,6	24,7 17,4 10,0	24,4 17,8 11,1	21,9 15,6 9,4
ANTSAMPANDRANO (Station forestière)	1844	Max Moy Min	24,0 17,8 11,9	23,6 17,6 11,6	23,7 17,6 11,5	21,7 15,8 9,9	20,3 13,2 6,1	17,0 11,2 5,4	16,8 10,6 4,4	17,1 11,3 5,5	20,0 13,4 6,8	23,4 15,6 7,8	24,0 16,9 9,8	24,2 17,6 11,0	21,3 14,8 8,5
HANOKELY	2100	Max Moy Min	21,3 16,4 11,5	21,5 16,4 11,3	21,1 16,2 11,2	20,6 14,9 9,2	18,9 12,7 6,5	17,7 11,1 4,4	17,3 10,4 3,5	18,7 11,3 3,9	20,9 13,1 5,3	22,7 15,0 7,3	22,5 15,9 9,3	22,0 16,4 10,7	20,0 13,9 7,7

TABEAU 4 : TEMPÉRATURES MOYENNES MENSUELLES DE QUELQUES STATIONS DE LA REGION DE L'ANKARATRA

qui produit un effet de foehn en rechauffant l'atmosphère. Ainsi à Soavinandriana (1575 m) la température moyenne mensuelle de saison sèche est de 15°2, alors qu'à Ambatolampy (1555 m) elle n'est que de 13°7. Par contre en saison chaude, la température moyenne est à peu près la même partout (18 à 20°) en dessous de 1750 mètres. Pratiquement partout, en saison sèche, les températures minima absolues descendent en dessous de 0°C. Le nombre de jours de gel et la température atteinte en dessous de 0°C, dépendent de l'altitude et de la position dans le modelé. A une altitude donnée, les zones basses, les cuvettes où s'accumule l'air froid qui glisse sur les pentes pendant la nuit, sont plus sensibles au gel que les zones en pente régulière.

- . entre 1400 et 1600 mètres : 1 à 10 jours de gel/an
- . entre 1600 et 1800 mètres : 10 à 20 jours "

ALTITUDE		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
1400	Max.abs.	30,8	31,2	30,5	29,0	27,0	25,2	24,8	26,7	29,6	31,9	32,0	31,0	29,1
	Max.	25,3	25,0	24,6	24,2	22,1	21,0	20,6	21,3	23,5	25,4	25,9	25,3	23,7
	Moy.	20,4	20,2	19,8	18,4	15,8	13,8	13,2	13,9	16,0	18,2	19,5	20,2	17,5
	Min.	15,5	15,8	15,0	12,6	9,5	6,9	5,8	6,9	8,5	11,0	13,1	15,1	11,3
	Min.abs.	10,2	11,0	10,2	7,2	3,0	0,5	-1,5	-1,0	0,4	3,5	8,5	10,5	5,2
1500	Max.abs.	30,4	30,8	30,1	28,7	26,6	24,7	24,4	26,2	29,3	31,6	31,6	30,6	28,8
	Max.	25,0	24,9	24,3	23,6	21,9	20,7	19,9	21,0	23,1	25,0	25,4	25,1	23,3
	Moy.	19,9	19,4	19,1	17,1	15,4	13,6	13,1	13,8	15,8	17,8	19,0	19,6	17,0
	Min.	14,5	14,3	14,1	11,9	9,0	6,8	6,2	6,8	8,2	10,4	12,4	14,1	10,7
	Min.abs.	9,3	10,5	9,6	7,5	1,5	0,0	-2,0	-1,5	-0,2	2,8	7,3	9,6	4,5
1600	Max.abs.	29,9	30,2	29,5	28,1	26,0	24,1	23,7	25,6	28,7	30,9	31,0	30,0	28,1
	Max.	24,8	24,7	24,1	23,1	21,7	20,5	19,3	20,6	22,8	24,5	24,9	24,7	23,0
	Moy.	19,3	18,9	18,4	16,9	15,1	13,5	13,0	13,7	15,3	17,3	18,4	18,9	16,6
	Min.	13,5	12,9	13,0	11,4	8,5	6,7	6,6	6,7	7,8	9,8	11,7	12,8	10,1
	Min.abs.	8,4	9,9	8,6	6,5	0,5	-1,0	-3,0	-2,0	-1,4	1,8	6,0	8,7	3,6
1700	Max.abs.	29,4	29,8	28,9	27,6	25,4	23,6	23,3	25,3	28,1	30,4	30,5	29,5	27,7
	Max.	24,1	23,5	23,2	22,5	21,0	19,6	19,1	20,4	22,6	24,3	24,5	23,8	22,4
	Moy.	18,6	18,3	18,1	16,8	14,7	13,0	12,5	13,2	15,0	17,0	17,9	18,4	16,1
	Min.	13,4	12,7	12,9	11,2	8,4	6,5	5,8	5,9	7,1	9,2	11,4	12,7	9,8
	Min.abs.	7,6	9,0	7,7	5,5	-0,5	-1,5	-4,0	-3,1	-2,0	0,5	5,3	7,6	2,7
1800	Max.abs.	28,9	29,3	28,5	27,2	24,9	23,2	22,9	24,8	27,7	29,9	30,0	29,0	27,2
	Max.	23,4	23,0	22,6	22,3	20,5	19,1	18,7	19,9	22,2	24,0	24,0	23,2	21,9
	Moy.	17,9	17,8	17,6	16,5	14,2	12,5	12,0	12,7	14,5	16,4	17,3	17,7	15,6
	Min.	13,0	12,3	12,5	11,0	8,0	6,0	5,2	5,4	6,6	8,7	10,8	12,0	9,3
	Min.abs.	6,7	8,1	6,7	4,5	-1,2	-3,0	-5,5	-4,5	-3,1	-0,5	3,8	6,7	1,5
1900	Max.abs.	28,0	28,5	27,7	26,4	24,1	22,4	22,0	24,0	26,9	29,5	29,3	28,2	26,4
	Max.	22,6	22,5	22,2	21,6	19,8	18,6	18,2	19,4	21,7	23,6	23,4	22,7	21,4
	Moy.	17,6	17,4	17,1	16,1	13,7	12,0	11,6	12,2	14,0	16,0	16,8	17,3	15,1
	Min.	12,6	12,0	12,0	10,3	7,3	5,5	4,8	4,9	6,2	8,3	10,3	11,6	8,8
	Min.abs.	5,8	6,7	5,5	3,2	-2,6	-4,5	-6,8	-6,2	-4,6	-1,7	3,5	5,8	0,4
2000	Max.abs.	27,8	28,2	27,4	26,0	23,9	22,0	21,6	23,7	26,6	29,2	28,9	27,9	26,1
	Max.	21,9	22,0	21,6	21,0	19,4	18,1	17,7	18,9	21,2	23,1	22,6	22,2	20,8
	Moy.	17,0	16,9	16,6	15,5	13,1	11,5	11,0	11,6	13,6	15,5	16,3	16,8	14,6
	Min.	12,0	11,6	11,5	9,8	7,0	5,0	4,2	4,3	5,7	7,8	9,8	11,1	8,3
	Min.abs.	5,2	6,2	5,0	2,8	-3,0	-5,0	-7,3	-6,8	-5,0	-2,3	3,2	5,3	-0,1
2100	Max.abs.	27,2	27,6	26,8	25,3	23,2	21,5	21,0	23,0	26,0	28,8	28,4	27,3	25,5
	Max.	21,2	21,4	21,0	20,5	18,8	17,7	17,3	18,7	20,9	22,7	22,4	21,8	20,3
	Moy.	16,3	16,3	16,1	14,8	12,5	11,1	10,4	11,3	13,1	15,0	15,8	16,2	14,0
	Min.	11,4	11,2	11,1	9,1	6,4	4,4	3,5	3,9	5,3	7,3	9,2	10,0	7,7
	Min.abs.	4,5	5,6	4,5	2,5	-4,0	-5,5	-7,8	-7,0	-5,5	-2,5	2,8	4,8	-0,6
2200	Max.abs.	27,0	27,3	26,5	25,1	23,0	21,2	20,9	22,9	25,8	28,4	28,1	27,1	25,2
	Max.	20,6	21,0	20,6	19,8	18,2	16,8	16,4	17,6	19,9	21,9	21,7	21,2	19,6
	Moy.	15,8	15,8	15,5	14,3	11,9	10,3	9,8	10,4	12,2	14,3	15,1	15,7	13,4
	Min.	10,9	10,6	10,4	8,6	5,6	3,7	3,0	3,1	4,4	6,6	8,6	10,0	7,1
	Min.abs.	4,0	5,0	4,0	1,6	-4,5	-6,4	-3,8	-8,0	-6,4	-3,0	2,0	4,3	-1,4
2300	Max.abs.	26,5	27,0	26,2	24,9	22,6	20,9	20,5	22,6	25,4	28,0	27,8	26,7	24,9
	Max.	20,0	20,3	20,0	19,8	17,6	16,2	15,8	17,0	19,2	21,1	21,0	20,5	19,0
	Moy.	15,3	15,0	14,9	13,8	11,2	9,4	9,0	9,7	11,5	13,5	14,4	15,1	13,0
	Min.	10,4	10,0	9,8	8,2	5,0	3,0	2,2	2,4	3,6	5,7	7,8	9,4	6,4
	Min.abs.	3,5	4,5	3,3	1,1	-5,4	-7,0	-9,2	-8,7	-7,1	-4,1	1,2	3,6	-2,0
2400	Max.abs.	26,1	26,6	25,7	24,4	22,1	20,4	20,0	22,1	24,9	27,5	27,3	26,2	24,4
	Max.	19,4	19,7	19,3	18,6	16,8	15,5	15,1	16,3	18,6	20,5	20,4	19,8	18,3
	Moy.	14,7	14,6	14,2	13,1	10,5	8,9	8,4	9,1	10,9	12,9	13,7	14,3	12,1
	Min.	9,8	9,4	9,2	7,4	4,4	2,3	1,6	1,8	3,0	5,2	7,2	8,6	5,8
	Min.abs.	3,0	3,9	2,6	0,5	-6,2	-7,5	-10,1	-9,4	-7,7	-4,8	0,5	2,7	-2,7
2500	Max.abs.	25,7	26,2	25,3	24,0	21,8	20,0	19,7	21,7	24,5	27,1	26,9	25,9	24,1
	Max.	18,7	19,0	18,6	18,0	16,2	14,8	14,4	15,6	17,9	19,7	19,6	19,0	17,6
	Moy.	14,0	13,9	13,5	12,4	9,8	8,2	7,7	8,4	10,2	12,2	13,0	13,6	11,4
	Min.	9,0	8,8	8,4	6,8	3,6	1,6	1,0	1,1	2,4	4,4	6,4	7,9	5,1
	Min.abs.	2,1	3,2	1,9	-0,5	-7,0	-8,4	-10,8	-10,0	-8,4	-5,5	-0,3	2,0	-3,7
2600	Max.abs.	25,3	25,7	24,9	23,5	21,3	19,6	19,2	21,2	24,0	26,6	26,4	25,4	23,6
	Max.	18,0	18,4	17,8	17,4	15,6	14,3	13,8	15,0	17,3	19,2	19,3	18,4	17,0
	Moy.	13,3	13,2	12,8	11,8	9,1	7,6	7,2	7,8	9,6	11,5	12,7	12,9	10,8
	Min.	8,4	8,2	7,7	6,1	3,0	1,1	0,4	0,5	1,8	3,8	6,2	7,3	4,5
	Min.abs.	1,5	2,4	1,2	-1,2	-8,0	-9,0	-12,5	-10,5	-9,0	-6,0	-0,8	1,4	-4,2

TABLEAU 5 : ESTIMATIONS DES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES EN FONCTION DE L'ALTITUDE DANS LA REGION DE L'ANKARATRA.

NB : En saison sèche (Mai à Octobre) une certaine correction doit être apportée à ces moyennes en fonction de l'exposition ; il faut légèrement réduire les températures qui concernent le versant oriental de l'Ankaratra (effet de l'alizé) et légèrement augmenter celles du versant occidental (effet de foehn). D'autre part les températures de saison des pluies dans les cuvettes (Ambohibary, Faratsiho, Vinaninony) peuvent être augmentées légèrement.

- . entre 1800 et 2100 mètres : 20 à 40 jours de gel/an
- . au dessus de 2100 mètres : plus de 40 jours "

En dessous de 1600 mètres d'altitude, les zones les plus froides sont le bassin d'Antsirabe et le piémont oriental de l'Ankaratra (Ambatolampy). A partir de 1800 mètres, les minima absolus sont tous inférieurs à -5°C ; ils peuvent atteindre $-8,5^{\circ}\text{C}$ en Juillet à Nanokely (2100 m), et $-13,0^{\circ}\text{C}$ au sommet de l'Ankaratra.

3. - ENSOLEILLEMENT - DUREE DU JOUR

Peu de données existent concernant ce paramètre climatique en fonction de l'altitude. Nous ne disposons des enregistrements complets que pour Tananarive ($18^{\circ}55$ latitude Sud) et Antsirabe ($19^{\circ}52$ latitude Sud). Nous avons estimé ces données pour Soavinandriana et Ambatolampy.

La durée du jour est la plus élevée pendant la saison des pluies (12 heures 92 centièmes en Décembre) d'Octobre à Mars. Elle est minimale en saison sèche (10 heures 77 centièmes en Juin). Cependant la nébulosité réduit l'ensoleillement de Décembre à Mars (174 heures en Février à Antsirabe, soit 50 % de la durée du jour). Cet ensoleillement est plus élevé pendant la saison sèche d'Avril à Novembre, malgré un minimum secondaire en Juillet dû à la couverture nuageuse apportée par les alizés. Le maximum est atteint en Octobre (273 heures à Antsirabe, soit 72 % de la durée du jour) où la durée du jour déjà plus longue se combine avec un ciel dégagé lié à une nette régression de l'influence de l'alizé.

Il est probable que le versant oriental de l'Ankaratra (à l'amont d'Antanifostsy, Ambohimandroso, Ambatolampy) est moins ensoleillé que Tananarive et Antsirabe, surtout durant la saison sèche. En effet, l'obstacle de l'Ankaratra y favorise l'ascendance de l'alizé humide donc une nébulosité plus importante qu'à Tananarive.

L'ensoleillement d'Antsirabe en saison sèche est plus élevé que celui de Tananarive. En effet, l'alizé qui monte progressivement sur le "plateau" de Soanindrariny subit une compression descendante lorsqu'il dévale les escarpements du Betampona puis du Mandray qui dominent le bassin d'Antsirabe.

DUREE DU JOUR A 19° lat. Sud		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
	Jour (heures)	12,76	12,08	11,98	11,46	11,01	10,77	10,87	11,25	12,76	12,26	12,62	12,92	11,89
ENSOLEILLEMENT REEL A TANANARIVE	Mois (heures)	396	347	371	344	341	323	337	349	353	380	379	400	432
	Jour (%)	50,6	50,9	58,1	63,6	63,6	63,2	60,8	65,5	67,9	68,2	61,5	51,5	60,4
ENSOLEILLEMENT REEL A ANTIRABE	Mois (heures)	200	163	216	218	224	204	205	229	239	259	233	206	2611
	Jour (%)	52,3	50,1	60,0	66,0	74,2	71,2	68,5	73,9	71,4	71,8	61,5	53,5	64,4
ENSOLEILLEMENT REEL A SOAVINANDRIANA	Mois (heures)	207	174	224	227	253	230	231	258	252	273	233	214	2780
	Jour (%)	53,0	51,9	62,0	67,4	79,2	80,5	74,2	75,9	73,7	76,3	68,6	55,0	68,1
ENSOLEILLEMENT REEL A AMBATOLAMPY	Mois (heures)	210	180	230	232	270	260	250	265	260	290	260	220	2920
	Jour (%)	48,2	46,4	55,8	60,8	62,8	60,4	58,2	62,8	64,9	65,3	58,8	49,3	57,8
	Mois (heures)	191	161	207	209	214	195	196	219	229	248	223	197	2500

TABEAU 6 : DUREE DU JOUR ET ENSOLEILLEMENTS MOYENS

Cette compression limite la condensation de l'humidité donc réduit la nébulosité et augmente l'ensoleillement. Cet effet de foehn est encore plus net sur le versant occidental de l'Ankaratra où l'ensoleillement est alors nettement plus important qu'à l'Est, surtout en saison sèche. Très souvent de Juin à Septembre le plafond nuageux s'arrête brutalement sur la ligne de crête, comme d'ailleurs à une vingtaine de kilomètres à l'Ouest de Tananarive dans le prolongement du massif montagneux.

En saison des pluies (Novembre à Avril) les différences d'ensoleillement entre l'Est et l'Ouest sont moins accentuées qu'en saison sèche.

En gros l'ensoleillement annuel de la façade Est est de l'ordre de 2500 heures et celui de la façade Ouest d'environ 2800 heures. La différence est surtout le fait de la saison sèche. Par contre de Novembre à Avril l'ensoleillement mensuel moyen est relativement constant partout (de l'ordre de 210 à 230 heures), sauf en Février où il chute à 170 heures.

4 - HYGROMETRIE

L'humidité moyenne de l'air suit à peu près les variations inverses, pendant l'année et suivant l'exposition, de l'ensoleillement. Elle est minima en Octobre (65 à 70 %) et maxima en Janvier-Février (80 à 83%).

Les moyennes annuelles sont sensiblement différentes d'Est en Ouest : 80 % à Ambatolampy, 77 % à Antsirabe et Tananarive, 76 % à Arivonimamo, 73 % à Soavinandriana.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
ARIVONIMAMO	82	81	83	79	76	76	74	72	70	68	73	79	76
ANTSIRABE	82	80	81	78	76	80	76	74	72	69	71	81	77
SOAVINANDRIANA	80	79	80	76	74	73	70	69	67	65	69	78	73
AMBATOLAMPY	87,6	86,5	87,6	83,2	81,0	79,9	76,7	75,6	73,4	71,2	75,6	79,9	80

TABLEAU 7 : HUMIDITES RELATIVES MOYENNES

En saison des pluies (Novembre/Décembre à Mars/Avril), l'hygrométrie est toujours élevée. Pendant cette période il ne semble pas y avoir de grandes variations d'un site à un autre, en fonction de l'altitude et de l'exposition. L'humidité relative moyenne est à peu près constante, de l'ordre de 81 %. Pendant la nuit et jusqu'à 7 h du matin, elle varie de 85 à 95 %. A 12 h elle est comprise entre 59 et 65 %, et à 17 h elle est de l'ordre de 66 à 75 %.

Par contre en saison sèche, il y a une différence suivant que l'on se trouve "au vent" de l'alizé ou "sous le vent". Ainsi, à Tananarive et à Antsirabe l'hygrométrie moyenne en juillet est de 76 %, contre 70 % à Soavinandriana.

5 - EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Nous ne mentionnerons que l'ETP-Thornthwaite, bien que cette formule, ne tenant compte que de la température, ne soit pas entièrement satisfaisante.

Sur les versants orientaux l'ETP totale annuelle varie entre 730 et 750 mm, dont 40 à 60 mm par mois en juin-juillet et août (ETP minima). Sur les versants occidentaux cette ETP annuelle varie de 900 à 1000 mm avec des minima en juin, juillet et août de 60 à 90 mm. La différence entre l'Est et l'Ouest est surtout marquée en saison sèche. Le maximum se situe toujours en octobre (80 à 125 mm) ; il est lié au maximum d'ensoleillement, au minimum d'humidité relative et à des températures déjà élevées. Au contraire les minima de juin à août sont corrélés avec des températures basses, une couverture nuageuse souvent importante (surtout sur la façade Est).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
TSINJOARIVO	68	62	59	53	51	46	41	54	66	78	78	70	726
AMBOHIBARY	80	72	70	62	43	40	35	50	54	80	70	75	731
AMBATOLAMPY	72	70	62	60	48	42	50	60	68	75	72	71	750
TANANARIVE	68	67	69	64	60	55	57	70	85	98	92	80	872
ANTSIRABE	75	75	72	80	75	80	68	70	80	105	100	80	965
SOAVINANDRIANA	86	84	87	81	76	69	72	88	107	123	116	101	1090

TABLEAU 8 : ETP-THORNTWHAITE DE QUELQUES STATIONS AUTOUR DE L'ANKARATRA

II - APTITUDE DU CLIMAT DE LA REGION DE L'ANKARATRA A LA CULTURE DU BLE PLUVIAL

1. CONDITIONS COMMUNES A TOUTE LA REGION DE L'ANKARATRA

. En principe, entre 1400 et 2600 mètres d'altitude, *les températures* de saison des pluies (décembre à avril) conviennent bien au blé (voir tableau 5). La moyenne des maxima est en effet, pendant cette période, toujours comprise entre 17° et 25°5. Cependant, il est préférable, pendant le début du cycle, de la germination au début de la montaison, soit pendant les premiers 20 à 30 jours, d'avoir les températures minima moyennes les plus basses possibles, de préférence inférieures à 15°. En effet les températures trop élevées pendant cette période entraînent une floraison trop précoce et un cycle raccourci défavorable au rendement. Plus on monte en altitude, plus la température minima est basse (sans descendre au dessous de 7°) et donc favorable. Elle atteint les 10°C vers 2300 mètres, alors qu'elle est de 14 à 14°5 à 1500 mètres. Un blé à cycle court, de 90-100 jours à 1600 mètres d'altitude peut atteindre 120-130 jours vers 2500 mètres.

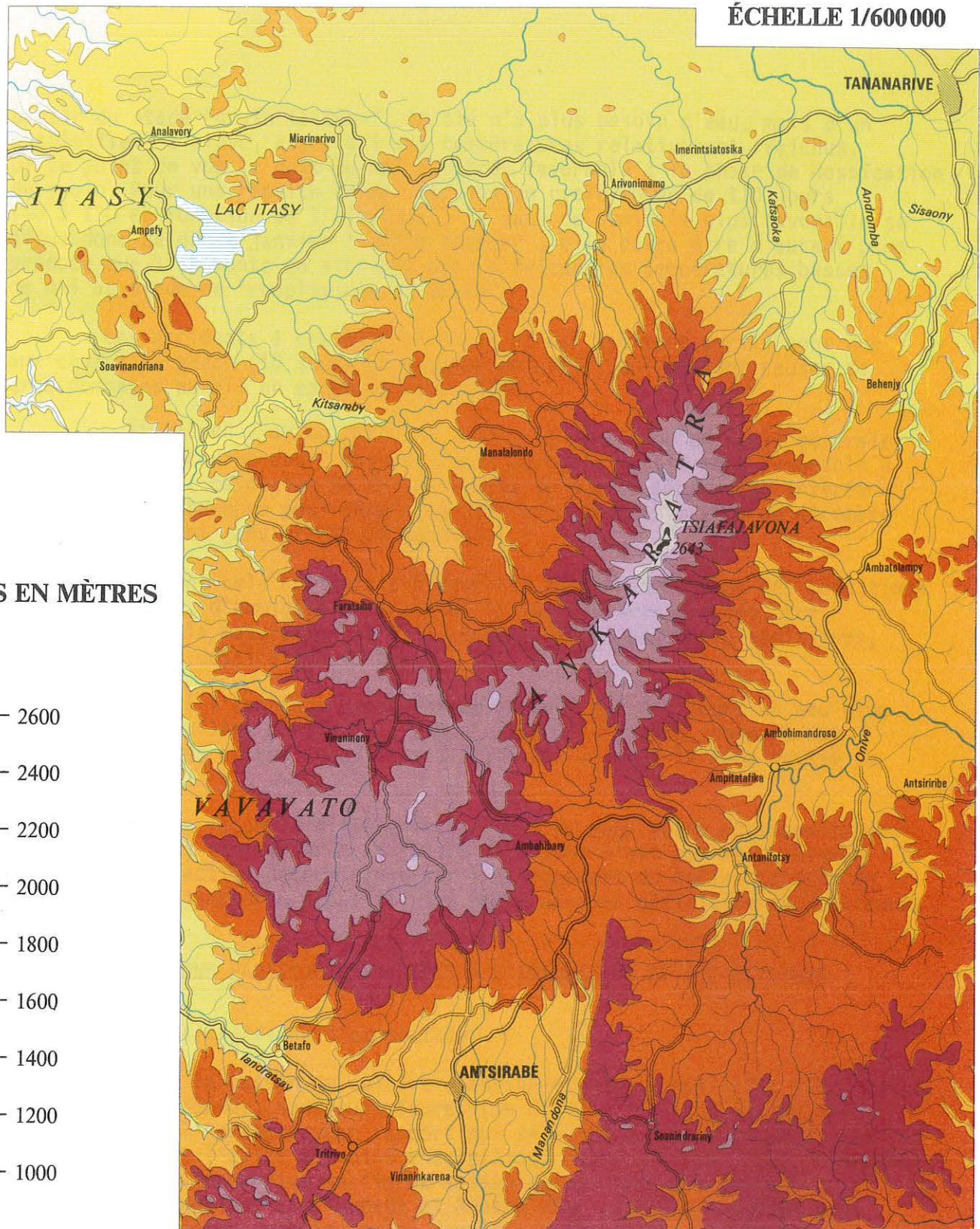
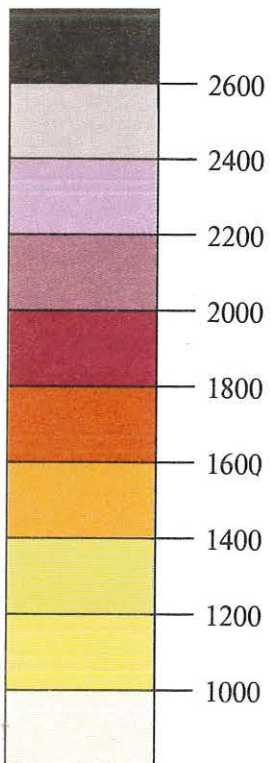
En dehors d'un allongement favorable du cycle, les risques de développement des maladies sont moins importants lorsque les températures sont basses, et que l'altitude augmente.

Pendant la période de maturation, spécialement pendant la phase de remplissage des grains jusqu'au stade "grains laiteux", le froid ralentit les processus de migration des réserves. La maturation se fait mal et traîne en longueur, risquant ainsi un déficit hydrique si elle se prolonge en juin. Il faudra éviter les températures négatives (à craindre en mai) pendant la période qui précède de 15 jours la récolte normale prévue et qui dure environ 25 jours. La date de semis devra donc être adaptée à cette exigence. Comme en plus la longueur du cycle s'allonge avec l'altitude il sera nécessaire de semer d'autant plus tôt que l'on monte. En effet à partir de 1700 mètres d'altitude la moyenne des minima absolus du mois de mai est négative (-0,5°). A 2000 mètres elle est déjà de -3°, et à 2300 mètres de -5,4° (voir tableau 5).

. Un autre élément du climat qui intervient dans le choix des dates de semis, est la *répartition des pluies*. Il faut s'arranger pour que la maturation et la récolte se fassent lorsqu'il ne pleut pas trop. Les mois d'avril (50 à 100 mm) et mai (20 à 50 mm) sont les plus intéressants. C'est pendant cette période déjà bien ensoleillée, que la maturation peut se faire dans les meilleures conditions phyto-sanitaires. Le "palier hydrique" du grain (qui dure une dizaine de jours) pendant lequel le blé est très sensible aux coups de sécheresse et aux températures élevées (échaudage), devrait se situer fin-avril à début mai, période où la pluie est encore suffisante et où les températures sont déjà sensiblement moins élevées. Il faudra cependant s'assurer que ces températures ne soient pas négatives (voir précédemment). Après cette phase critique le grain entre dans sa phase de dessiccation qui précède d'une quinzaine de jours la pleine maturité et la récolte, et à

ÉCHELLE 1/600 000

ALTITUDES EN MÈTRES



CARTE HYPSONÉTRIQUE ET HYDROGRAPHIQUE DE LA RÉGION ANKARATRA-ITASY

Fig. 2

partir du stade "grain laiteux", le blé n'a plus besoin d'eau, mais d'un ensoleillement élevé, associé à des températures relativement fraîches. De ce point de vue le mois de mai est très favorable à la phase de dessiccation du grain. Pour une récolte en mai et pour un cycle moyen de 110 jours (90 à 130 en fonction de l'altitude), la date de semis la plus favorable se situe donc de début janvier à début février ; elle devra être d'autant plus précoce que l'on monte en altitude afin d'éviter les températures basses de mai au stade de "remplissage du grain".

Les accidents à craindre en avril et mai (surtout avril) sont dus aux *chutes de grêle* (10 jours en moyenne en avril) qui peuvent causer de gros dommages au blé en cours de maturation.

. *L'influence de la durée du jour* : Il semble qu'en règle générale l'éclairement diurne des 2 premiers mois du cycle du blé soit favorable à l'allongement de ce cycle. De ce seul point de vue on peut avoir intérêt à semer début décembre pour bénéficier des éclaircissements maxima de décembre (12,92 heures) et janvier (12,76 heures).

Cependant cela obligerait à récolter en mars donc dans des conditions de pluviométrie, d'humidité de l'air et de températures élevées, très défavorables à la maturation et à la récolte (problèmes phyto-sanitaires, verse, mauvaise dessiccation du grain ...).

Au total l'avantage hypothétique apporté par des jours un peu plus longs pendant la 1ère partie du cycle n'est pas suffisant, comparé aux inconvénients des autres conditions climatiques pendant la 2ème moitié du cycle.

De toute façon la différence de durée du jour entre décembre-janvier (12,92 et 12,76) et février-mars (12,08 et 11,98) n'est pas assez élevée pour avoir une action déterminante sur l'allongement du cycle. La date de semis de début-janvier à début-février reste donc en définitive la meilleure.

2. CONDITIONS PARTICULIERES LIEES A L'EXPOSITION ET A L'ALTITUDE

2.1. Les effets de l'exposition

Pendant la saison de culture (janvier-février à mai), les températures à une altitude donnée, sont supérieures (de 0,5 à 1,5°) sur les versants occidentaux de l'Ankaratra par rapport aux versants orientaux exposés aux vents humides de l'alizé et moins ensoleillés. Cette différence est d'autant plus nette que l'on arrive en fin de saison des pluies. Par exemple si on compare Soavinandriana (à l'Ouest) et Ambatolampy (à l'Est) situées vers 1570 m d'altitude on constate qu'en janvier et février la différence des températures moyennes est de 0,8° à 1°, qu'en mars et avril elle est de 1,1° et qu'en mai cette différence est déjà de 1,5°. On fait la même constatation si on compare Faratsiho (1750 m) à l'Ouest) et Soanindrariny (1800 m) à l'Est.

Les versants exposés directement à l'alizé, situés en contrebas et à l'Est de la crête principale de l'Ankaratra orientée N 20°E ("hauts" d'Antanifotsy, d'Ampitatafika, d'Ambohimandroso, d'Ambatolampy et de Behenjy) ainsi qu'à l'Est de l'escarpement de faille du Betampona ("plateau" incliné de Soanindrariny), sont donc à altitudes égales plus frais de janvier à mai que la façade occidentale ("hauts" de Vinaninony, Faratsiho, Manalalondo, Miarinarivo, et à plus forte raison Soavinandriana dans l'Itasy et couloir de l'Iandratsay près de Bétafo). Il s'agit d'un caractère favorable à l'allongement du cycle du blé donc à l'augmentation des rendements.

Cependant ces températures plus intéressantes sont dépréciées par des conditions hygrométriques et d'ensoleillement plus défavorables qu'à l'Ouest. La pluviométrie est davantage sous forme de pluies fines et continues, malgré de nombreux gros orages (ceux-ci étant un peu moins fréquents cependant que sur les versants exposés à la mousson). Ces pluies fines et tenaces, laissent peu de place à l'ensoleillement et entretiennent une humidité relative de l'air toujours importante. Cette humidité, accompagnée de nombreuses précipitations occultes se continue à l'époque de la maturation du blé en avril et mai, davantage qu'à l'Ouest. Les risques phyto-sanitaires seront donc plus grands. La prolongation en début de saison sèche de l'ambiance humide permettrait peut être à altitude basse, inférieure à 1600 mètres, de semer un peu plus tardivement jusqu'à la fin février que sur la façade occidentale, et ainsi de réduire les dégâts parasitaires pendant la maturation. Au dessus de 1600 mètres le gros inconvénient de cette pratique est qu'une récolte en mai-juin obligerait le blé à subir des températures négatives au début de la maturation, ce qui nous l'avons vu, est à éviter. Au contraire du fait de températures plus basses en mai à l'Est qu'à l'Ouest, on aura sans doute intérêt, au dessus de 1600 mètres, à semer plus précocement en janvier.

Du point de vue *intensité des pluies*, les versants Est ont une fréquence moins grande d'averses violentes orageuses que les versants exposés à la mousson. Il s'en suit d'une part que les dégâts mécaniques sur le blé (*verse*) qui sont à craindre dans les deux cas seront cependant dans l'ensemble moins importants, et d'autre part que le potentiel érosif du climat où dominent les pluies fines prolongées sera un peu plus faible (sur des pentes et des sols comparables).

Les pluies d'orage toujours très violentes à l'Est, comme à l'Ouest mais plus fréquentes à l'Ouest sont certainement, comme les chutes de grêle, une contrainte importante pour la culture du blé. Les accidents de *verse* sont spécialement à craindre (moins à l'Est qu'à l'Ouest où en plus s'ajoutent des vents plus forts). Aussi les variétés résistantes, de préférence à paille courte, seront les mieux adaptées au milieu. Il faudra se méfier des cultures trop denses, trouver un compromis entre densité de semis et faculté de tallage. Les excès de fumure azotée par rapport au phosphore et à la potasse seront à éviter.

2.2. Influence de l'altitude

Cette influence se traduit essentiellement au niveau des températures qui diminuent régulièrement avec l'altitude (voir tableau : 5). Cet effet est favorable pendant les deux premiers mois du cycle. Aucun risque de gel n'existe jusqu'à 2600 mètres d'altitude, de Novembre à Mars. Le problème thermique essentiel en altitude réside dans le fait qu'au dessus de 1700 m, les minima absolus descendent en dessous de zéro degré au mois de Mai. Il faudra donc s'arranger pour que la phase sensible de la maturation qui est le remplissage des grains ne se produise pas pendant cette période. Il faut pour cela que dans les régions d'altitude la récolte se fasse *au plus tard* le 15 mai. Par exemple un blé de 120 jours à 2000 m d'altitude semé début février donc récolté début Juin, aura une mauvaise maturation et un rendement faible. Compte tenu de l'allongement du cycle avec l'altitude, on peut en première approximation se baser sur les normes suivantes pour une variété précoce, en faisant abstraction de l'influence éventuelle du photopériodisme sur la longueur du cycle :

- 1400 - 1600 mètres : cycle 90 jours - semis début février
récolte 1er au 15 mai
- 1600 - 1800 mètres : cycle 100 jours - semis fin janvier
récolte début mai
- 1800 - 2000 mètres : cycle 110 jours - semis mi-janvier
récolte fin avril/début mai
- 2000 - 2200 mètres : cycle 120 jours - semis début janvier
récolte début mai
- 2200 - 2500 mètres : cycle 130 jours - semis fin décembre
récolte fin avril.

Une variété tardive cultivée en haute altitude obligera à décaler encore un peu plus la date de semis en la centrant sur décembre au lieu de janvier.

Ces dates de semis seront donc fonction essentiellement de la variété et de l'altitude.

Les variétés précoces sont à préconiser en altitude.

Les variétés tardives s'adaptent mieux aux altitudes inférieures à 1700 mètres.

Cependant, le fait d'avancer un peu la récolte (fin avril) dans certaines zones d'altitude pour éviter les trop grands froids à la maturation soumettra celle-ci à des pluies, des précipitations occultes et (surtout sur les versant orientaux) une hygrométrie encore relativement élevées ce qui sera un facteur favorable au parasitisme.

L'expérience agronomique devra trouver un compromis pour une variété et une altitude données entre les avantages (éviter les froids) et les inconvénients (humidité excessive) pour caler au mieux la date de semis.

3. CONCLUSIONS

Les facteurs thermiques de saison des pluies conviennent bien au blé. La date de semis la plus favorable est conditionnée par la précocité de la variété, l'altitude et dans une certaine mesure par l'exposition et la topographie, facteurs qui influent sur les régimes thermiques et pluviométriques. Il faudra choisir les conditions thermiques qui satisfont au mieux les exigences physiologiques de la plante tout au long de son cycle, tout en réduisant au maximum les risques d'attaques parasitaires ; la date de récolte la plus favorable et la plus saine est située en fin de saison des pluies, entre le 15 avril et le 15 mai. Il faudra cependant éviter, au dessus de 1700 mètres d'altitude, les froids du mois de mai (températures négatives fréquentes au-delà de la première décade), qui ralentissent ou inhibent la maturation. Pour cela, les dates de semis devront être situées de fin décembre à début février.

Pour les variétés à cycle court, les semis les plus précoces (fin décembre au 10 janvier) sont préconisés à haute altitude au-dessus de 2100 mètres ; de 1700 à 2100 mètres, la meilleure période pourrait être entre le 10 et le 20 janvier, et en dessous de 1700 mètres, du 20 janvier à début février. A une même altitude les froids du mois de mai apparaissent plus tôt sur les versants orientaux exposés au alizés, que sur les versants occidentaux. Pour tenir compte de ce facteur exposition, on pourra donc envisager des semis légèrement plus précoces à l'Est qu'à l'Ouest.

On peut penser que les façades orientales plus uniformément humides et à ensoleillement plus faible que les façades occidentales (même en mai à l'époque de la récolte), sont plus sensibles aux attaques des parasites. Donc comme partout dans l'Ankaratra, mais peut être sur les régions orientales plus qu'ailleurs, il sera difficile de trouver un compromis entre les risques phyto-sanitaires si on sème trop tôt et les risques de températures trop basses à la maturation si on sème trop tard.

Sur les versants occidentaux, il faudra d'autre part se méfier des risques d'échaudage physiologique dûs à des coups de sécheresse à la phase du "palier hydrique du grain" qui peuvent se produire dès la fin avril. La saison des pluies se termine en effet plus brutalement que dans la région d'Ambatolampy-Antanifotsy. Pour éviter l'échaudage il conviendra de ne pas récolter, donc semer trop tard. Cette recommandation est spécialement valable pour les régions les plus chaudes et occidentales (Itasy et région de Betafo).

D'autres paramètres météorologiques de caractère aléatoire et à forte variabilité sont à craindre dans toute la région de l'Ankaratra : il s'agit des pluies d'orage à fortes intensités qui sont spécialement nombreuses et violentes de décembre à mars sur les versants occidentaux, et encore plus dans les grandes cuvettes (Ambohibary, Faratsiho, Sambaina). Les variétés les plus résistantes à la verse seront donc impérativement à rechercher. Enfin il faudra compter sur la grêle qui sera toujours dangereuse en Avril à l'époque de la maturation.

DEUXIEME PARTIE

GEOLOGIE

Les travaux successifs de A. LACROIX (1912), A. LENOBLE (1938), puis plus récemment de C. ALSAC (1965), H. BESAIRIE (1971), C. ZEBROWSKI (1974) et G. MOTTET (1974) ont permis de préciser peu à peu la structure, la pétrographie, et la chronologie des épisodes volcaniques du massif de l'Ankaratra et de ses bordures (Vakinankaratra, Itasy). G. MOTTET est l'auteur de la plus récente synthèse globale de ce volcanisme. Ses travaux (thèse de Doctorat d'Etat) axés sur la géomorphologie, ont permis de lever certaines incertitudes antérieures en ce qui concerne spécialement la chronologie relative des éruptions et la répartition des ankaratrites. Nous nous sommes largement inspiré de ce travail pour retracer sommairement la géologie de la région.

Les émissions volcaniques de l'Ankaratra, du Vakinankaratra et de l'Itasy, à dominance basaltique, ont une superficie totale d'environ 3 500 km². Elles ont une direction d'ensemble NS à NNE-SSW, direction dominante de fracturation du socle cristallin des Hautes-terres malgaches.

I. CHRONOLOGIE DES EPISODES VOLCANIQUES ET TECTONIQUES



Les éruptions ont commencé à la fin du miocène et se sont poursuivies, avec de longues interruptions, jusqu'à l'holocène. Trois épisodes principaux, d'importance différente en volume de laves émises et en durée, peuvent être distingués :

- *Le Volcanisme ancien* qui s'est produit du mio-pliocène (7 millions d'années) au pléistocène inférieur (1,5 millions d'années) forme l'essentiel du massif de l'Ankaratra (270 000 hectares) qui culmine à 2643 mètres au Tsiafajavona. Ce volcanisme est très disséqué et fortement altéré.




- *Le volcanisme récent*, pléistocène moyen et supérieur (moins de 800 000 ans) occupe la région Ouest d'Antsirabe (18 000 hectares), c'est à dire une grande partie du Vakinankaratra (sud de l'Ankaratra proprement dit). Les formes sont très nettement reconnaissables et l'altération est relativement peu profonde.

- *Le volcanisme très récent* (holocène, moins de 10 000 ans) s'est produit dans la région de Bêtafo (6500 hectares), dans le Nord du bassin lacustre d'Antsirabe (8 400 hectares) et constitue enfin tout le complexe de l'Itasy (34 000 hectares). Les édifices, coulées et cendrées de ces épisodes sont parfaitement conservés et leur altération est très peu avancée

ALLUVIONS

-  Ennoyage alluvial récent.
-  Alluvions volcano-fluvio-lacustres plio-pléistocène.




VOLCANISME QUATERNAIRE TRÈS RÉCENT (HOLOCÈNE)

-  Basanites, basanitoides (coulées, cônes et projections)
-  Trachytes (dômes et coulées visqueuses)
-  Trachytes (projections).



VOLCANISME QUATERNAIRE RÉCENT (FIN PLÉISTOCÈNE)

-  Basanites (coulées, cônes et projections).
-  Basaltes (cônes et coulées).

VOLCANISME QUATERNAIRE ANCIEN (DÉBUT PLÉISTOCÈNE)

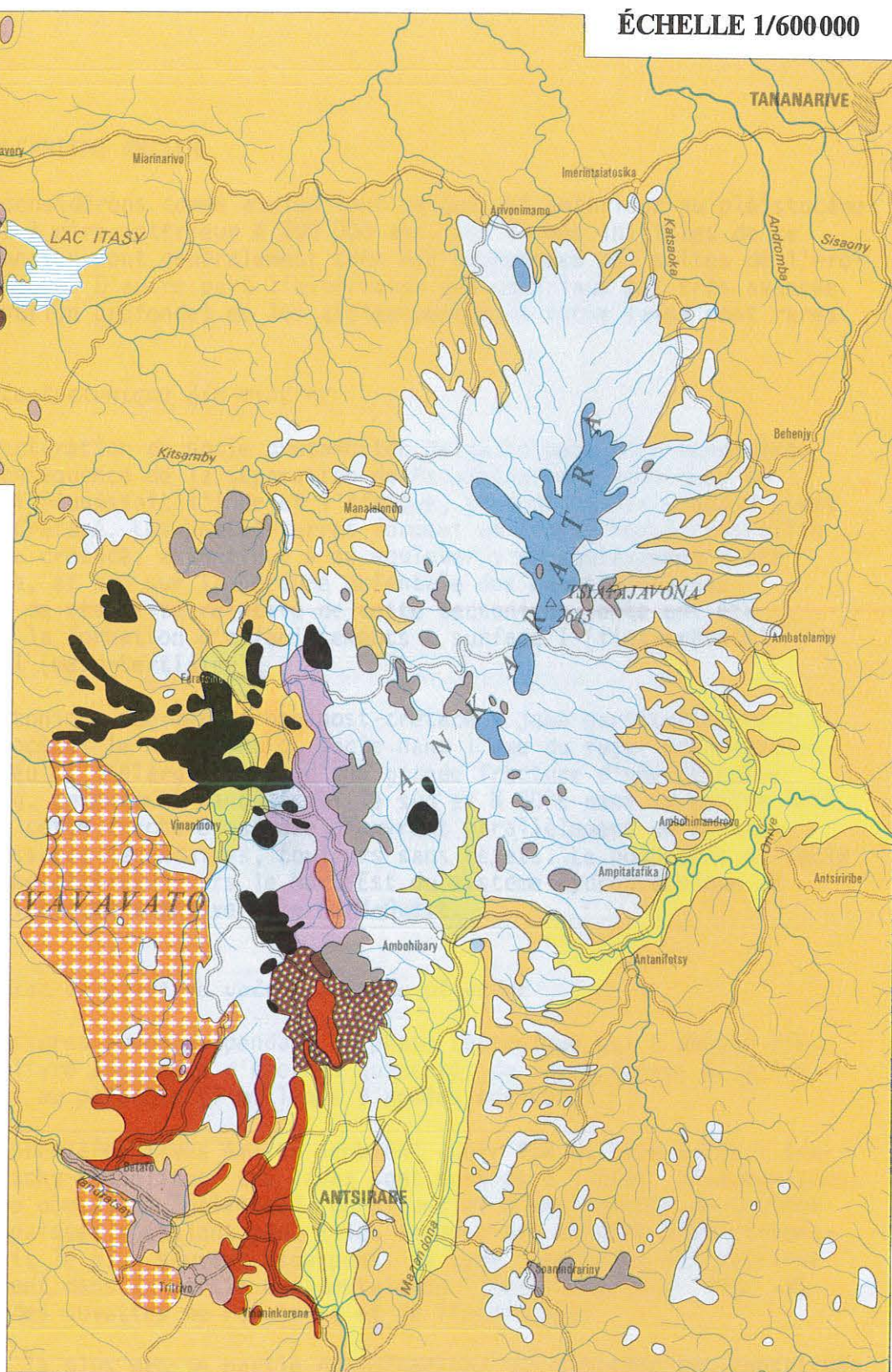
-  Andésites (coulées d'Ambatondradama).
-  Ankaratrites.
-  Trachytes, trachy-phonolites (dômes, coulées visqueuses).

VOLCANISME MIO-PLIOCÈNE

-  Basaltes.
-  Trachytes, trachy-phonolites (dômes, coulées visqueuses).

SOCLE CRISTALLIN

-  Migmatites, granito-gneiss, micaschistes.
-  Granites (Vavavato).



Certaines limites sont inspirées des travaux de G. MOTTET.

ESQUISSE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ANKARATRA-ITASY

CHRONOLOGIE RELATIVE DU VOLCANISME

Fig. 3

1. LE VOLCANISME ANCIEN

Nous considérons comme ancien tout ce qui est antérieur au pléistocène moyen, c'est à dire antérieur à 800 000 ans. Les formes initiales de ce volcanisme ancien sont généralement très mal conservées des suites de l'érosion postérieure. D'autre part l'altération des matériaux est très avancée (ferrallitisation profonde) et les affleurements de roche saine sont rares.

1.1. La tectonique fin miocène

La fracturation du socle précambrien Malgache peut être considérée comme une conséquence de la séparation de Madagascar du "continent de Gondwana" qui réunissait l'Inde et l'Afrique, et dont la dislocation s'est produite au Crétacé. Les Hautes-terres forment un énorme horst cristallin qui, après le crétacé, a continué à se soulever ; ce soulèvement a été dissymétrique, et axé sur la bordure orientale des Hauts-plateaux. Les périodes de stabilité relative de cette tectonique lente ont été favorables à la formation d'aplanissements : surface I (fini-crétacé) et surface II (meso-tertiaire).

La tectonique sub-méridienne post-crétacé a joué particulièrement à la fin du miocène; le bombement du socle dans l'axe du futur Ankaratra engendre le rejeu et l'élargissement d'une grande fracture d'une centaine de km de long, orientée NS dans la moitié sud et N 20°E dans la moitié Nord. A l'ouest de cette fracture majeure s'ouvrent parallèlement un certain nombre de fissures secondaires, toujours sans rejets. Le bombement du socle a provoqué une déviation vers le Nord-Est du système hydrographique de l'Onive, dirigé auparavant vers le Nord-Ouest.

1.2. Mise en place du volcanisme mio-pliocène

Les fissures ouvertes pendant la phase tectonique qui a débuté fin miocène ont livré passage à d'énormes quantités de laves, émises à la fin du miocène et au pliocène (7 millions d'années environ).

- les premières laves émises semblent avoir été de type acide : trachytes et trachy-phonolites. Ces laves sont sorties à l'état visqueux sous les formes de dômes, de "galettes", de pitons et d'empilements de coulées courtes et épaisses s'étalant peu. Elles forment des massifs bien circonscrits à parois le plus souvent escarpées. Ce type d'émission est localisé essentiellement dans la partie Occidentale de l'Ankaratra (voir fig. 3) à proximité des cuvettes de Faratsiho et de Vinaninony.

- mais la plus grosse partie du volcanisme mio-pliocène est constituée de basaltes effusifs très fluides ("trapps") sortis par la grande fracture subméridienne. Il s'agit de la "série basique ancienne". Ces émissions basaltiques semblent avoir commencé légèrement après les émissions acides trachy-phonolitiques. Les nappes basaltiques, alternant coulées massives et coulées scoriacées à allure de tufs, se sont étalées sur des étendues considérables pour former le "premier Ankaratra". Elles ont fossilisé les surfaces d'aplanissement antérieures du socle cristallin : la surface fini-crétacé (I) a été recouverte au centre, à l'ouest et au sud-est, la surface meso-tertiaire (II) au Nord et à l'Est.

.../...

Le système de l'Onive, bloqué par le barrage volcanique ainsi construit, a alors formé une immense étendue endoréique où se sont accumulés les sédiments volcano-lacustres et fluviaux. C'est le bassin d'Antanifotsy, relié à la grande cuvette d'Ambohimandroso.

1.3. Phases d'effondrements volcano-tectoniques

Les émissions considérables de laves au mio-pliocène et le bombement continu du socle ont eu pour conséquences au pliocène des réajustements tectoniques qui se sont traduits par des effondrements le long de lignes de fractures antérieures.

- *la faille du Betampona* : cette faille sub-méridienne (N 20°E) d'une cinquantaine de km de long est dans le prolongement de la ligne de crête de l'Ankaratra. Il s'agit en fait de la même grande fracture ; c'est la moitié nord, enterrée, qui a livré le maximum de laves. La partie sud de cette fracture présente un rejet pouvant atteindre 400 mètres de haut et constitue l'escarpement du Betampona qui se prolonge d'ailleurs loin vers le sud (faille de la Manandona). Le compartiment occidental s'est effondré formant ainsi les bassins d'Antsirabe et d'Ambohibary-Sambaina qui se rempliront d'alluvions volcano-lacustres, où s'intercaleront des projections (cinérites et blocs) et coulées des éruptions postérieures. Le bloc oriental de la faille au contraire s'est légèrement réhaussé portant la surface I (fini-crétacé) et sa couverture basaltique (isolée de ses "racines"), à plus de 2000 mètres d'altitude (Plateau de Soanindrariny). Le gauchissement vers le NE de ce socle a accentué le déversement vers l'Est du système de drainage de l'Onive qui par la suite a fini par percer le seuil de Tsinjoarivo, perdant ainsi son caractère endoréique et conduisant à la vidange de l'étendue lacustre.

- *la faille du Mandray* : cet accident parallèle au Betampona mais d'une dénivelée moindre, cloisonne le bassin d'Antsirabe en deux sous-bassins, séparés par le horst du Mandray basculé vers l'Est.

- *les cuvettes intra-montagnardes* : des fractures situées à l'ouest de celles du Betampona et au Nord-Est du massif granitique des Vavavato, évoluent en failles qui cisailent le socle cristallin, avec rejets vers l'Est, isolant ainsi de petits bassins remplis d'alluvions fluviaux dont les principaux sont ceux de Faratsiho et de Vinaninony.

1.4. *Les venues de volcanisme acide consécutives aux effondrements* : la tectonique d'effondrements a occasionné l'émission de laves acides (trachytes et trachy-phonolites) probablement issues de la "fonte" du socle cristallin (riche en silice) effondré. Au plio-pléistocène, des extrusions visqueuses sont sorties en de nombreux endroits, jalonnant un certain nombre de fissures du socle, souvent enterrées par les épanchements antérieurs. Comme pour la phase initiale de volcanisme acide, il s'agit de dômes et pitons à formes encore bien reconnaissables. La distinction entre les deux épisodes d'extrusions tachytiques est donc délicate à

établir, d'autant plus que la pétrographie de ces laves est identique dans les deux cas. Les critères d'ancienneté d'altération ne sont pas utilisables, les deux générations de volcanisme étant uniformément très altérées.

1.5. Les épanchements d'ankaratrites

Au début du pléistocène la fracture principale sub-méridienne livre à nouveau le passage à un volcanisme basique fissural. Il s'agit de la "série basique moyenne" par opposition avec la "série basique ancienne" mio-pliocène. Elle est constituée d'épanchements fluides d'Ankaratrites qui achèvent la construction du massif de l'Ankaratra. Les ankaratrites sont des roches basiques très proches des basaltes, mais ne possédant pas de feldspaths, uniquement des feldspathoïdes (voir plus loin). L'âge de ces émissions a été attribué à environ 3 millions d'années. Les ankaratrites recouvrent les basaltes de la série basique ancienne sans enterrer semble-t-il de paléotopographie ou de paléosols; il y a une conformité de "pendage". Ces faits semblent indiquer qu'il n'y a pas eu une grande interruption entre les 2 séries basiques. Actuellement les ankaratrites constituent la crête sommitale déchiquetée de l'Ankaratra à plus de 2 200 mètres d'altitude. De cette crête partent quelques *planèzes* (La Loana), surtout à l'ouest et au nord du massif.

Au Tsiafajavona (2643 mètres), sommet de l'Ankaratra, l'empilement de laves basiques au dessus du socle atteint 1000 mètres d'épaisseur.

1.6. Mise en place des andésites d'Ambatondradama

Cet épisode dont on attribue un âge compris entre 1,7 et 1,4 millions d'années est également d'origine fissurale (N.S.). Les andésites forment une vaste étendue sub-horizontale, vers 2000 mètres d'altitude ("plateau d'Ambatondradama") de 10 000 ha, faiblement entaillée, orientée N.S.

Les laves ont occupé une large gouttière située entre les basaltes mio-pliocène et dominée par des massifs trachytiques. Les andésites s'appuient en partie (en tout cas dans la zone Nord) directement sur la surface d'aplanissement fini-crétacé du socle (surface I), non ou peu recouverte par les formations volcaniques antérieures.

2. LE VOLCANISME RECENT (PLEISTOCENE MOYEN ET SUPERIEUR)

Les volcanismes récents et très récents du Sud de l'Ankaratra (Vakinankaratra) sont à dominance basique; ils sont regroupés dans la "série basique récente".

.../...

2.1. Les cônes et coulées basaltiques du Fandriandratsy

Ces basaltes, d'une étendue limitée (moins de 1000 hectares), sont issus de 2 cônes stromboliens encore bien reconnaissables. Ils s'appuient sur le plateau d'Ambatondradama. Un âge approximatif de 800 000 ans leur a été attribué.

2.2. Les basanites du Vakinankaratra

Cette phase éruptive a moins de 100 000 ans. Elle est représentée par plus de vingt édifices de projections faiblement émoussés. De ces cônes souvent égueulés, sont sorties en direction du sud, des coulées fluides dont la plus méridionale atteint le village de Vinaninkarena. Les coulées ont emprunté des vallées ou gouttières préexistantes et recouvrent, soit le socle, soit des roches volcaniques plus anciennes, soit encore les alluvions volcano-lacustres du bassin d'effondrement d'Antsirabe.

3. LE VOLCANISME TRES RECENT (HOLOCENE)

Des appareils volcaniques (puys) à formes parfaitement conservées, d'où sont sorties coulées et projections montrant une très faible évolution pédologique, s'observent dans la région de Betafo-Tritriva (volcanisme basique à basanites et basanitoïdes) et dans l'Itasy. (volcanisme mixte, basique dominant et acide).

L'âge de ces éruptions est vraisemblablement inférieur à 10 000 ans. Assez récemment, a été mis en évidence (C. ZEBROWSKI et G. MOTTET) un volcanisme explosif exclusivement acide (projections trachytiques) d'âge très récent, sans doute holocène.

Ces projections de cendres et petites scories ponceuses ont saupoudré, sur 1 à 2 mètres d'épaisseur, une région de 8400 hectares située au Nord du compartiment occidental du bassin d'Antsirabe. Les cendres sont probablement issues du massif trachytique d'Ambohimadinika d'où partent quelques courtes coulées. Elles ont moulé le modelé de dissection et les sols affectant les roches volcaniques antérieures ; une partie a recouvert la surface sub-horizontale des alluvions volcano-lacustres du bassin d'Antsirabe.

II. LITHOLOGIE

Ce qui différencie fondamentalement les différentes roches de l'Ankaratra et de l'Itasy, est leur caractère plus ou moins acide, exprimé par leur teneur plus ou moins grande en silice. En général, plus la lave est acide, plus elle est claire et moins elle est fluide.

La plus grande partie (85 à 90 % en superficie) du volcanisme de l'Ankaratra, du Vakinankaratra et de l'Itasy est basique et mélanocrate.

- les roches basiques (pauvres en silice) sont des basaltes proprement dits (série basique ancienne), des Ankaratrites (série basique moyenne), des Andésites (plateau d'Ambatondradama), des basanites et basanitoides (série basique récente).

- les roches acides (riches en silice) en quantité plus limitée sont constituées de trachytes, de trachy-phonolites et de phonolites.

- il nous faut mentionner enfin les alluvions volcano-lacustres.

1. LES ROCHES BASIQUES

1.1. Les basaltes de la série basique ancienne

Il s'agit essentiellement de basalte d'inondation ("trapps") issus d'éruptions fissurales. Les laves étaient très fluides et se sont étalées 20 à 30 km de part et d'autre de la fissure d'émission principale qui est située dans l'axe de la ligne de crête du massif. En volume et en surface ces basaltes représentent la plus importante des séries volcaniques de l'Ankaratra. Les empilements stratoïdes montrent des alternances de coulées massives et de coulées scoriacées ou tuffacées, de 1 à 10 mètres d'épaisseur. Il y a peu de produits typiquement pyroclastiques issus d'éruptions explosives ; les édifices d'explosion ont été démantelés par l'érosion. A l'état frais les basaltes sont des roches sombres (mélanocrates). Actuellement elles sont toutes profondément altérées et ferrallitisées, les affleurements de roche saine sont relativement rares. La composition et la structure minéralogique (taille, forme et assemblage des minéraux) permet de faire de nombreuses distinctions pétrographiques que nous ne détaillerons pas, car elles ont peu d'intérêt pour la pédogénèse ancienne ; les basaltes à olivine et augite et les basaltes à olivine seule sont les plus répandus.

Les basaltes de l'Ankaratra sont relativement pauvres en silice (de l'ordre de 45 % SiO_2), riches en fer (6% FeO , 5% Fe_2O_3) en magnésium (6% MgO) et en calcium (11% de CaO). Par rapport aux roches acides, elles sont pauvres en sodium et en potassium.

1.2. Les Ankaratrites de la série basique moyenne

Ces roches occupent les crêtes sommitales du massif de l'Ankaratra (plus de 2200 mètres d'altitude) jalonnant la fracture principale, et quelques planèzes radiales recouvrant en conformité les basaltes plus anciens. Il s'agit, comme les basaltes, de roches effusives épanchées en nappes très fluides. A l'état frais elles sont noires, à grains très fins, très dures et compactes. C'est leur composition minéralogique qui les distingue des basaltes proprement dits ; en effet, elles sont sous-saturées en silice et de ce fait ne contiennent pas de feldspaths mais uniquement des feldspathoïdes (népheline et parfois mélinite). Ces feldspathoïdes sont associés à de l'olivine.

.../...

Leur teneur en silice est faible (39% SiO_2); mais elles sont plus riches que les basaltes en fer (7,5% FeO , 4% Fe_2O_3), en magnésium (13% MgO) et en calcium (14,5% CaO); elles sont assez pauvres en sodium et en potassium.

1.3. Les andésites du plateau d'Ambatondradama

Morphologiquement et chimiquement, ces roches effusives sont intermédiaires entre les trachytes et les basaltes. Elles présentent généralement une couleur plus claire que ces derniers (gris à gris-foncé); elles se sont épanchées à l'état moins fluide ; il s'agit encore de volcanisme fissural, sans édifices reconnaissables. Les andésites du plateau d'Ambatondradama sont plus riches en silice, en sodium et en potassium que les basaltes (environ 54 % de SiO_2 , 4 % Na_2O , 3% K_2O), mais plus pauvres en fer et en magnésium.

1.4. Les basanites et basanitoïdes de la série basique récente

Les volcanismes basiques récent (Vakinankaratra) et très récent (Vakinankaratra et Itasy) sont caractérisés par une bonne homogénéité pétrographique. Il s'agit de volcanisme "strombolien" combinant des phases explosives avec construction de cônes de scories (puys), saupoudrage des alentours en cendres et scories, et des phases effusives donnant naissance à de grandes coulées fluides. En ce qui concerne le volcanisme très récent (moins de 10 000 ans), ces édifices, coulées et cendrées, ont été très peu marqués par l'érosion et peu touchés par la pédogénèse (sols andiques).

L'épisode antérieur, plus ancien, localisé à l'ouest d'Antsirabe, est cependant encore qualifié de récent, compte tenu de la bonne conservation des édifices ; par contre l'altération y est nettement plus poussée (sols rouges "chocolat".)

Les basanites et basanitoïdes ressemblent beaucoup, morphologiquement, à des basaltes; ils s'épanchent en coulées fluides et ils sont de teinte sombre. On peut les trouver à l'état massif et très dur (coulées) ou divisé (scories, lapillis, cendres). Du point de vue pétrographique, il s'agit de "basaltes à feldspathoïde" (néphéline); concernant la richesse en silice les basanites sont donc intermédiaires entre les basaltes proprement dits (à feldspaths, sans feldspathoïdes) et les ankaratrites (sans feldspaths, uniquement à feldspathoïdes). La teneur en SiO_2 est de l'ordre de 40 à 45 %.

Par rapport au basanite, le basanitoïde, ne présente pas de néphéline individualisée et cristallisée; celle-ci reste à l'état potentiel dans le verre.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻
ANKARATRITES	39	10,5	4	7,5	-	13	14,5	2,5	1,7	3,5	1	1	0,4
BASANITES ET BASANITOIDES	42,6	12,1	4,1	7,5	-	10,6	13,4	2,8	2	3,6	0,7	0,5	0,2
BASALTES	46	12	5	6	-	6	11	2	0,8	2,5	0,4	1,5	1
ANDESITES	54	17	3,6	5	-	2	7	4	3	2	0,5	1	0,5
TRACHY-PHONOLITES	60	18	2,5	3	-	0,5	2	6,5	5	0,6	0,2	1	0,5
TRACHYTES	68	17	1,6	1	-	0,1	0,3	5,7	4,6	0,2	0,1	0,7	0,4

TAB. 9 : TABLEAU COMPARATIF DES COMPOSITIONS CHIMIQUES
MOYENNES DES PRINCIPALES ROCHES DE LA REGION
ANKARATRA - ITASY

2. LES ROCHES ACIDES

C'est le groupe des trachytes qui est le plus représenté, parmi lequel on trouve essentiellement des *trachytes hyper-alcalins quartzifères* et des *trachy-phonolites*, moins riches en silice et où, en conséquence, apparaît un feldspathoïde, la néphéline. Toutes ces laves extrusives sont sorties à l'état visqueux, donnant des appareils bien particuliers en forme de coulées courtes et épaisses, de bouchons ou de dômes de 500 mètres à 10 km de large, bien délimités dans le paysage par des versants périphériques raides; ils se trouvent généralement en position dominante par rapport aux épanchements basiques environnants. Il ne semble pas y avoir de différence pétrographique significative entre les roches acides antérieures (ou contemporaines) à la série basique moyenne et les roches acides postérieures.

A côté de ces dômes trachytiques de grande dimension, on trouve (région de Faratsiho et de Soanindrariny) pointant dans le paysage, une grande quantité de *pitons phonolitiques*, postérieurs à la série basique ancienne. Ils diffèrent très peu des trachy-phonolites; ils sont seulement un peu plus riches en néphéline.

Par rapport aux roches basiques toutes ces roches trachytiques sont plus riches en silice (plus de 60% SiO₂) et en alcalins (5 à 7 % Na₂O, 5% K₂O). Par contre elles sont nettement plus pauvres en fer (moins de 3% FeO, moins de 2,5% Fe₂O₃), en calcium (moins de 2% CaO) et en magnésium (moins de 1% MgO). Ce sont des roches de teinte assez claire (gris clair gris-jaunâtre, gris-verdâtre). On les observe assez souvent en affleurements sains, du fait de la raideur des versants périphériques structuraux.

3. LES SEDIMENTS VOLCANO-LACUSTRES

Les premiers dépôts, probablement miocènes, sont constitués par des conglomérats de galets composés de trachytes et de roches cristallines. Puis au dessus, viennent des graviers et des sables. Conglomérats, sables et graviers constituent les *dépôts de base* qui, la plupart du temps semblent reposer directement sur le socle cristallin. Au pliocène et au pléistocène, les bassins lacustres se sont comblés par des *dépôts détritiques*, issus de l'érosion des reliefs périphériques, et par des

projections volcaniques ; ces 2 types de matériaux sont imbriqués. Les matériaux détritiques sont composés de sables, graviers, marnes, argiles kaolinitiques (blanches, brunes, rouges, jaunes ou bariolées) ; on trouve aussi localement des bancs de schistes bitumineux et de lignites. Les matériaux volcaniques interstratifiés, sont des cinérites (cendres compactées), des tufs, des brèches et conglomérats issus de projections ; mais on y trouve aussi quelques basaltes de coulées. Enfin des bancs de diatomites blanches sont fréquents. Tous ces dépôts présentent une stratification sub-horizontale très nette, parfois légèrement déformée ou basculée par des rejeux tectoniques et des tassements différentiels. On peut distinguer plusieurs séries (2 à 4) séparées par de légères discordances.

TROISIÈME PARTIE

LES SOLS

La nature et la répartition des sols sont en étroite relation d'une part avec l'âge et la répartition des formations volcaniques, et d'autre part avec les conditions climatiques auxquelles celles-ci sont soumises. Il faut ajouter un facteur important, qui est la plus ou moins grande perméabilité des roches. Les caractères purement pétrographiques n'interviennent que secondairement.

. *L'âge du volcanisme* : dans des conditions climatiques données, plus l'altération est ancienne, et plus celle-ci est poussée et profonde. Cette évolution va de pair avec la disparition progressive des formes volcaniques (coulées, édifices, nappes de projections) originelles. La pédogenèse, en ameublissant l'armature superficielle des formes initiales, prépare en effet de façon efficace leur dissection par les eaux de surface.

On aura donc, en gros, 3 grands types de pédogenèse et de modelé :

- les sols ferrallitiques profonds (plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres) sur volcanisme ancien dont les formes d'origine ont la plupart du temps disparu. La profondeur d'altération, c'est à dire l'intensité, la vitesse de l'hydrolyse des minéraux, est cependant modulée par les températures. Ainsi plus on monte en altitude, plus la roche saine se rapproche de la surface. De plus, en altitude, la vigueur du modelé, qui favorise l'érosion des sols, contrarie également leur approfondissement et joue ainsi dans le même sens que les températures basses.
- les sols ferrallitiques sur volcanisme récent ont une évolution en profondeur moins poussée. La roche saine est assez peu profonde (1 à 2 mètres). La zone d'altération est peu épaisse. Les coulées et édifices volcaniques sont légèrement émoussés par l'érosion, mais encore parfaitement reconnaissables.
- les sols sur volcanisme très récent, des régions de Bétafo, Tritriva et de l'Itasy, présentent une faible évolution pédogénétique. Ils sont peu épais, l'hydrolyse des minéraux est très peu avancée. Les constructions volcaniques sont pratiquement intactes, exceptés quelques "barrancos" sur les flancs des cônes les plus pentus.

. *Les conditions climatiques* : elles interviennent par les températures, la répartition des pluies et l'humidité atmosphérique. Ce sont les eaux d'infiltration relativement chaudes, et évacuées régulièrement en profondeur qui assurent les meilleures conditions d'hydrolyse des minéraux primaires des roches et de néoformation des produits secondaires cristallisés. Ainsi les basaltes des planèzes périphériques du

"bas-Ankaratra" (1500-1800 mètres d'altitude), sont les plus profondément altérés. On n'y voit pratiquement jamais la roche saine. Les basaltes du "moyen Ankaratra" situés plus en altitude (1800-2100 mètres) possèdent une profondeur d'altération déjà moindre. Enfin, les sols développés sur les Ankaratrites du "haut Ankaratra" (2100-2643 mètres) sont encore moins épais (0,5 à 2 mètres).

L'ambiance d'humidité qui règne dans le matériau et dans le sol, l'alternance plus ou moins prononcée d'humectation et de déshydratation, conditionnées par le climat, ont une action sur l'évolution secondaire des produits libérés par l'hydrolyse. Un milieu constamment gorgé d'eau (Haut-Ankaratra) contrarie la recristallisation en minéraux argileux secondaires. Les produits d'hydrolyse restent à l'état de gels hydratés amorphes ; plus bas en altitude, où les sols subissent une certaine déshydratation en saison sèche, les minéraux sont davantage cristallisés, mais les oxydes de fer restent à l'état hydraté (goethite) et colorent le sol en brun ou brun-jaunâtre. Enfin en dessous de 1800 mètres dans les sols rouges, la cristallisation est totale (kaolinite, hématite, gibbsite).

Le froid, qui augmente en altitude, inhibe l'activité biologique donc la minéralisation de la matière organique et favorise ainsi l'accumulation de celle-ci. Les sols sont donc d'autant plus riches en matière organique qu'ils sont soumis à des températures fraîches. Cette matière organique a un rôle sur la dynamique de l'eau dans le sol. L'épaisseur de l'horizon humifère et l'accumulation des produits végétaux fibreux, qui s'accroissent avec l'altitude favorisent le piégeage des eaux de surface ; il se crée alors un épais niveau supérieur spongieux, hydromorphe, ayant souvent un aspect tourbeux. Ce sera le cas des andosols perhydratés des sommets. Il est également probable que l'accumulation de matière organique provoque la complexation en gels amorphes organo-minéraux stables des produits issus de l'hydrolyse. Dans les milieux à faible déshydratation, la matière organique favorise "l'allophanisation" au dépend de la cristallisation.

. *La vitesse du drainage* : la plus ou moins grande perméabilité de la roche-mère conditionne la vitesse d'élimination des produits d'hydrolyse et particulièrement de la silice. Or la silice est le constituant essentiel et indispensable des édifices cristallins des minéraux phylliteux secondaires. Un déficit de silice limite la néoformation de ces minéraux phylliteux ; il s'accompagne corrélativement d'un excès d'alumine qui s'individualise en gibbsite, soit sous forme de concrétions caverneuses, soit le plus souvent sous forme de particules de la taille des argiles. La richesse en gibbsite d'un sol rend compte de la vitesse de percolation des eaux d'infiltration et d'élimination des produits d'hydrolyse solubles. Nous verrons que les sols sur volcanisme récent, très perméables, ont la particularité de ne pas contenir d'argile phylliteuse, et d'être constitués uniquement de gibbsite et d'hématite.

Nous allons décrire les grands groupes de sols rencontrés dans la région :

- les sols "rouges" sur basaltes anciens : sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques modaux ;
- les sols "rouges et ocre-jaune" sur alluvions volcano-lacustres anciennes : sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques humifères ;
- les sols "bruns" sur volcanisme ancien (basaltes ou trachytes) : sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques humifères ;
- les sols "chocolat" sur roches basiques récentes : sols ferrallitiques fortement désaturés humifères andiques ;
- les sols "noirs" sur volcanisme ancien (basaltes ou trachytes) : andosols perhydratés mélaniques ;
- les andosols peu différenciés sur projections volcaniques très récentes.

Dans un souci de synthèse, afin de ne pas tomber dans le pointillisme, nous avons résumé les caractères généraux "modaux" de ces sols et de leurs environnements, en évitant les descriptions fastidieuses de profils. Quelques profils caractéristiques sont décrits et analysés en annexe.

Fig. 4

1. LES SOLS FERRALLITIQUES "ROUGES" SUR ROCHES BASIQUES ANCIENNES

1. SITUATION ET ENVIRONNEMENT

Les sols rouges occupent une très vaste superficie (140.000 hectares) à la périphérie du massif de l'Ankaratra, à une altitude comprise entre 1450 et 1800 mètres, soumise à une pluviométrie annuelle de 1300 à 1500 mm. La température moyenne annuelle y est de l'ordre de 15°5 à 16°5. Ces sols sont développés sur les basaltes du volcanisme miopliocène (les plus anciens de l'Ankaratra). Ces anciennes planèzes forment actuellement de vastes plateaux et lanières (inversion de relief) périphériques et radiaux, peu accidentés, à pentes moyennes à faibles. Les basaltes anciens sont profondément altérés et sont très rarement observables en affleurements sains. La végétation des planèzes dégradées est, à perte de vue, une savane herbeuse steppique, à *Ctenium*, *Trachypogon*, *Heteropogon*, *Hyparrhenia*. De rares boqueteaux d'Eucalyptus et des fourrés à mimosa (*Acacia decurrens*) et *Helichrysum* sont disséminés. Ces sols rouges sont assez peu cultivés. Ce sont surtout les flancs pentus des entailles des planèzes qui sont mis en valeur; les sols de ces versants (de couleur plus brune) y sont tronqués, parfois jusqu'à la zone d'altération et sont donc rajeunis ; c'est pourquoi ils sont vraisemblablement plus riches que les sols rouges des plateaux.

Les sols rouges s'observent principalement au Sud d'Arivonimamo et Imerintsiatosika, à l'Est de Manalalondo, à l'ouest de Behenja, Ambatolampy, Ambohimandroso, Ampitatafika. La couleur de ces sols rouges sur basaltes est généralement plus sombre et plus vive que celle des sols développés sur socle cristallin (dans les roses), c'est un critère de reconnaissance aisé entre socle et basalte, lorsque les roches saines ne sont pas visibles.

2. CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES

. L'horizon humifère, brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/4) est assez bien développé; d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, il comporte un enracinement graminéen assez dense. Le taux de matière organique est assez élevé (4 à 8 %), malgré la teinte vive du sol ; le rapport C/N est de 11 à 13. La texture est lourde, argileuse (50 à 60 % d'argile, 30 % de limon, 10 à 20 % de sable). La structure est polyédrique fine.

Le pH est acide, compris entre 4,8 et 5,1. La capacité d'échange est comprise entre 10 et 20 mé/100 g de sol, plus élevée qu'en dessous du fait de la richesse en matière organique. Le taux de saturation est cependant inférieur à 5 %. La teneur en phosphore total est relativement élevée (1000-1200 mg), mais la teneur en phosphore assimilable (Olsen) est très faible (10 à 12 ppm).

. Les horizons B, de couleur rouge foncé (2,5 YR 3/6), homogènes peuvent faire 1,5 à 3 mètres d'épaisseur. Ils montrent parfois un horizon intermédiaire avec l'horizon humifère, brun rouge, de 30 à 50 cm d'épaisseur. Les horizons B sont toujours bien structurés, avec une structure polyédrique moyenne anguleuse ; leur consistance est friable et leur perméabilité d'ensemble est très bonne. La teneur en matière organique est encore assez élevée jusqu'à 50 cm de profondeur (2 à 4 %) ; elle est inférieure à 1 % en dessous de 1 mètre. La texture est très argileuse (50 à 70 % d'argile, 15 à 20 % de limon, 7 à 15 % de sable). Le pH est assez acide, compris entre 5 et 5,4. La capacité d'échange est comprise entre 2 et 10 mé/100 g de sol ; elle diminue avec la profondeur en même temps que le taux de matière organique. Le pourcentage de saturation du complexe absorbant est toujours très faible (1 à 2 %). La teneur en phosphore total est de 1000 à 1500 ppm, contre 10 à 40 ppm de phosphore assimilable (Olsen).

Parfois une "stone line" de basalte pourri et de résidus d'altération gibbsitiques, sépare l'horizon B rouge de l'horizon d'altération sous-jacent en place. Contrairement aux sols sur socle cette "stone line" est souvent difficile à voir en raison de l'absence de filons de quartz ; le remaniement "biologique" du sol rouge sur basalte est donc plus difficile à mettre en évidence.

. La zone d'altération, montre généralement des teintes bigarrées, dans les mauves, rouge, violacé, grisâtre, brunâtre. Des noyaux farineux grisâtres représentent des restes de roche en place ; on y reconnaît encore la structure de certains minéraux, en particulier les minéraux sombres, ferro-magnésiens.

. La roche saine n'apparaît qu'à grande profondeur (10 à 30 mètres). Il s'agit généralement de basalte noir massif ou bulleux (voir composition chimique, tableau 9).

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

Dans l'horizon B rouge, le rapport $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ est compris entre 1,5 et 1,8. La fraction argile comprend essentiellement une grosse quantité de gibbsite (40 à 50 %) et de la kaolinite (20 à 25 %). Le taux de kaolinite augmente en profondeur où elle domine alors sur la gibbsite, dont la teneur augmente au contraire du bas vers le haut du profil. La présence abondante de cet élément dans les sols est caractéristique des vieux sols ferrallitiques très lixiviés en silice (et en bases). La richesse en gibbsite d'un sol traduit généralement le déficit en silice et un excès en alumine, donc l'intensité des évacuations par les eaux de drainage de produits de dégradation et de dissolution de la métahalloysite puis de la kaolinite elle-même. Cela a été démontré par SIEFFERMAN dans certains sols du Cameroun.

Le fer est individualisé sous forme de goethite à la base du profil, et plutôt sous forme d'hématite dans la partie supérieure.

L'horizon B montre une absence totale de minéraux résiduels non ou peu altérés.

Ces caractères physiques, chimiques et minéralogiques nous conduisent à classer ces sols rouges profonds parmi les *sols ferrallitiques fortement désaturés "typiques" gibbsitiques*.

Il semble que ces sols ont subi un certain remaniement mécanique d'origine vraisemblablement biologique, comme en témoigne la présence fréquente d'une "stone line" discontinue et discrète entre le "recouvrement remanié" et le matériau en place sous-jacent qui peut être soit la zone d'altération, soit une partie du matériau rouge de l'horizon B.

4. QUALITES AGRICOLES - APTITUDES AU BLE PLUVIAL

Ces sols ont une extension considérable. Ce sont parmi les moins intéressants de la région de l'Ankaratra. Mais ils ont cependant de meilleures propriétés et une meilleure fertilité potentielle que les sols équivalents développés sur le socle cristallin environnant.

Un de leur atout est leur relative richesse en matière organique (4 à 8 % de 0 à 20 cm, 2 à 4 % de 20 à 50 cm), qui leur donne une structure physique favorable et une capacité d'échange non négligeable (10 à 20 mé/100 g de sol). L'absence de sables grossiers, la richesse en argile et la matière organique, confèrent à ces sols une stabilité structurale favorable à un bon enracinement des plantes. Ces sols rouges sont toujours profonds et bien structurés, comparés aux sols ferrallitiques sur socle, dont la richesse en sable est souvent responsable d'une structure massive et d'une percolation accélérée des eaux et des engrais.

Les sols rouges sur basalte ont, pour ces raisons, une meilleure capacité de rétention en eau que les sols sur socle, et un meilleur pouvoir fixateur pour les engrais, qui sont lixiviés moins vite.

La fertilité chimique actuelle de ces sols est faible et leur pH est acide (4,8 à 5,4). Ils devront donc recevoir de fortes fumures et probablement des amendements calcaires pour tenter de remonter le pH entre 5,4 et 5,8.

En dehors de cet aspect strictement pédologique ces sols conviendront d'autant mieux pour le blé que l'altitude sera plus élevée. La tranche 1600-1800 mètres est la plus favorable.

II. LES SOLS FERRALLITIQUES "ROUGES" ET "OCRE-JAUNES" SUR ALLUVIONS VOLCANO-LACUSTRES

1. SITUATION ET ENVIRONNEMENT

Ces sols ferrallitiques sont développés sur les sédiments volcano-lacustres des bassins d'Antsirabe (11.900 ha), du Betampona (18100 ha) et d'Antanifotsy-Ambohimandroso (21.875 ha).

L'altitude de ces bassins est comprise entre 1550 et 1600 mètres. Le modelé est plat. Les alluvions sont entaillées par des bas-fonds et des vallées alluviales (Onive, Manandona) qui, sur la carte ont été intégrés à l'unité mais qui représentent environ 20 % de "déchets". La superficie réelle actuelle de "la terrasse" volcano-lacustre est donc de l'ordre de 42.000 hectares.

Ces sols ressemblent beaucoup aux sols rouges développés sur basalte ancien. Ce n'est pas très étonnant puisque le matériau originel est en très grande partie composé de dépôts d'origine basaltiques : cendres, cinérites, argiles d'altération basaltique, diatomites, etc ...

Les sols des bassins lacustres ne sont pas cultivés de façon intensive. Beaucoup d'espaces (que nous estimons à 50 %) sont en jachère arbustive. (taillis à *Acacia decurrens*, *Helychrisum*, *Eucalyptus*) où en tout cas ne sont pas cultivés annuellement.

2. MORPHOLOGIE ET CARACTERES ANALYTIQUES

Les sols ont une couleur d'ensemble rouge, ocre ou jaune, suivant l'état d'hydratation du fer et la vitesse de drainage. Dans les larges dépressions, probablement dues à des actions de suffosion et de soutirage profond dans la zone d'altération, on passe à des sols carrément hydromorphes, tachetés ou gleyifiés, ou même à tendance "podzolique" ("lavage" des argiles et du fer, décoloration dans le haut du profil) avec un horizon supérieur très organique (hydromor, tourbe).

Ces sols hydromorphes ne nous intéressent pas pour le blé mais ils représentent, avec les sols indurés, un "déchet" de l'ordre de 20 % sur les alluvions volcano-lacustres.

Les sols ferrallitiques non hydromorphes, colorés, toujours très épais (environ 31.500 hectares au total), montrent un horizon humifère net de 20 à 30 cm d'épaisseur avec 6 à 10 % de matière organique dans les sols rouges, et 10 à 15 % dans les sols ocres et jaunes. En dessous,

l'horizon intermédiaire, brun-rouge à brun-jaune de 20 à 40 cm d'épaisseur contient encore 2 à 6 % de matière organique; puis on passe à l'horizon B, coloré, homogène avec une structure polyédrique fine à moyenne très développée. Vers 2 mètres de profondeur on commence à reconnaître la structure alluviale (litation), où s'observe une "argilification" différentielle des couches.

Ces sols ont un pH acide (5,1 à 5,5) dans l'ensemble du profil. La capacité d'échange, relativement élevée dans l'horizon humifère (20 à 30 mé/100 g de sol) n'est que de 6 à 10 mé dans l'horizon B. Le taux de saturation est toujours faible, inférieur à 10 %.

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

La fraction argile de ces sols possède un rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de 0,6 à 0,8. Ils sont riches en minéraux cristallisés de type kaolinite, gibbsite et sesquioxydes de fer. Il n'y a pas de produits amorphes. Il s'agit donc d'une altération typiquement ferrallitique. Les caractères analytiques et morphologiques nous les font classer dans les sols *ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques humifères*.

4. QUALITÉS AGRICOLES - APTITUDES AU BLE PLUVIAL

Ces sols possèdent d'excellentes propriétés physiques (friabilité, porosité, structure), très favorables à l'enracinement des plantes. Ils ont cependant une forte teneur en argile (60 à 80 %). La présence de quantités importantes de pseudo-sables explique en grande partie ces propriétés intéressantes. Il faudra cependant éviter comme déjà mentionné plus haut, les zones dépressionnaires (larges cuvettes ou gouttières, peu visibles sur le terrain) où l'on passe alors aux sols hydromorphes ne convenant pas au blé.

Ces sols ont cependant une très faible fertilité chimique et sont très acides. Ils sont carencés en tous éléments et demandent des amendements calciques.

Une superficie assez importante peut être consacrée à la culture du blé, sans compétition avec d'autres cultures. On peut évaluer à 50 % la superficie utilisable, soit environ 16.000 hectares.

III. LES SOLS FERRALLITIQUES "BRUNS" HUMIFERES SUR VOLCANISME ANCIEN

1. SITUATION ET ENVIRONNEMENT

Ces sols prennent le relais progressif des "sols rouges" au-dessus de 1800 mètres d'altitude. Ils forment une superficie d'environ 78.000 hectares. On les trouve tout autour du massif de l'Ankaratra et sur le plateau de Soanindrariny, jusque vers 2100 mètres sur le versant occidental et 2000 mètres sur le versant oriental. Au-dessus, ils passent aux sols andiques (voir plus loin). Les sols bruns peuvent donc être considérés comme intermédiaires entre les ferrallitiques rouges et les ferrallitiques andiques.

Ces sols occupent les parties moyennes des vastes coulées de basaltes anciens ; le modelé est celui de planèzes dégradées, découpées en plateaux et lanières inclinés limités par de profondes vallées radiales. La pente générale est déjà plus élevée que sur les parties terminales des coulées occupées par les sols rouges. Les sols bruns couvrent aussi une grande partie du "plateau" andésitique d'Ambatondradama. Enfin ils occupent une partie des massifs trachytiques entre 1800 et 2000 m d'altitude.

Cette bande d'altitude, comprise entre 1800 et 2000/2100 mètres est caractérisée par une pluviométrie de 1500 à 2000 mm. Les températures y sont déjà fraîches et favorisent l'accumulation de la matière organique. La température moyenne annuelle est comprise entre 14°5 et 15°5.

2. MORPHOLOGIE ET CARACTERES ANALYTIQUES

. L'horizon humifère, épais de 30 à 50 cm (plus développé que sur les "sols rouges") est de couleur brun-foncé à brun-noirâtre. Il est souvent très riche en racines qui forment un feutrage épais. A l'état sec la consistance est cendreuse et friable. Le taux de matière organique, compris entre 8 et 15 %, est d'autant plus élevé que l'on se trouve en altitude. Le rapport C/N est compris entre 12 et 14 (supérieur à celui des sols rouges précédents). Le pH est de l'ordre de 4,8 à 5. La capacité d'échange est élevée (20 à 30 mé/100 g de sol), mais le taux de saturation est toujours très bas (1 à 4 %). La texture est toujours argileuse (60 à 75 % d'argile). Les réserves en phosphore total sont élevées (2000 à 5000 ppm) et le phosphore assimilable (Olsen) est en faible quantité (175 ppm) mais cependant 10 fois plus élevée que dans les "sols rouges".

. L'horizon B, de 50 cm à 2 mètres d'épaisseur (donc moins épais que sur les sols rouges) est de couleur brun-ocre à brun-rougeâtre. Il est toujours argileux (55 à 70 % d'argile, 15 à 30 % de limon, 5 à 15 % de sable). La structure, polyédrique anguleuse moyenne à grossière, est toujours bien développée. On n'observe pas de taches d'hydromorphie ni concrétions. Le taux de matière organique reste encore appréciable (2 à 4% C/N = 12) jusqu'à 60 cm de profondeur. Il est inférieur à 1 % en dessous.

.../...

La capacité d'échange est encore élevée (10 à 20 mé/100 g de terre). Le taux de saturation est très faible (moins de 2 %). Le pH est acide (4,7 à 5,1). Les réserves sont élevées (3000 à 5000 ppm) en phosphore total, mais faibles (100 à 300 ppm) en phosphore assimilable.

. La zone d'altération apparaît vers 75-200 cm de profondeur. Elle est épaisse de 1 à plusieurs mètres. Par rapport à l'horizon B, ce matériau est plus compact et moins structuré. On y voit un mélange d'argile rouge et de résidus de basalte altéré de teintes violacée, brunâtre et grisâtre.

. La roche saine est composée soit de basalte (le plus souvent), soit d'andésite (Ambatondradama), soit de trachyte. Les caractères morphologiques et analytiques des sols ne montrent pas de différences significatives suivant la roche-mère. Les sols sur roches basiques sont plus rougeâtres en général que les sols sur roches acides, moins riches en fer.

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

L'hydrolyse des minéraux est totale. Aucun minéral primaire ne subsiste dans l'horizon B où le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ est toujours inférieur à 2. On y trouve de la gibbsite, de la kaolinite et des hydroxydes de fer, formés essentiellement de goethite. La kaolinite est moins abondante que la gibbsite à la base, mais domine en proportion vers le sommet du profil.

Une certaine proportion (de l'ordre de 10 %) d'éléments amorphes alumino-siliceux (allophanes) existent dans l'horizon B et l'horizon A, associés étroitement à la matière organique. Par rapport aux sols rouges décrits précédemment, la cristallisation des minéraux secondaires semble donc un peu entravée par la richesse en matière organique et l'état d'humidité du sol, plus prolongé. L'aspect fréquemment "cendreux" de l'horizon humifère lorsque celui-ci est sec, provient de la teneur relativement faible en éléments phylliteux cristallisés, de la présence presque exclusive de matière organique et de gibbsite, à l'état finement particulaire.

4. QUALITE AGRICOLE - APTITUDE AU BLE PLUVIAL

Comparés aux "sols rouges", les "sols bruns" présentent quelques avantages. Tout d'abord, leur situation à moyenne et haute altitude leur confère déjà une "plus-value" dans l'optique de leur utilisation pour le blé.

Ces sols, riches en matière organique possèdent, dans les 30 centimètres supérieurs, un complexe absorbant argilo-humique favorable à une bonne rétention des éléments fertilisants. Ayant de très faibles réserves minérales, ces sols sont susceptibles de répondre rapidement aux apports d'engrais et amendements calco-magnésiens.

Cependant cet épais horizon organique riche en racines a souvent tendance à piéger les eaux de surface et à provoquer un milieu hydromorphe superficiel (nappe perchée) nuisible à l'enracinement, spécialement pour le blé qui craint fortement l'engorgement. Cela semble être la raison essentielle pour laquelle les paysans font des cultures (pommes de terre surtout) sur gros billons dans le sens de la pente. Cet engorgement de surface est spécialement à craindre dans les larges ensellements, plateaux et plaines d'altitude où la pente générale est inférieure à 8 %.

Enfin, il faudra remonter au dessus de 5,4 le pH des sols.

IV. LES SOLS FERRALLITIQUES "CHOCOLAT" SUR ROCHES BASIQUES QUATERNAIRES

1. SITUATION ET ENVIRONNEMENT

Les sols "chocolat" occupent la plus grande partie du Vakinankaratra c'est à dire la région comprise entre Antsirabe, Bétafo, Tritriva et Vinaninkarena, où est localisé le volcanisme quaternaire du Sud du massif de l'Ankaratra. Ces sols affectent les basanites (roches basiques) de la phase volcanique récente (phase 2) datée de moins de 100.000 ans. Les formes d'émission sont variées : une vingtaine de cônes de scories ayant émis de grandes coulées scoriacées saupoudrées souvent de projections cendro-scoriacées. La roche mère est donc toujours basique poreuse et perméable. L'ensemble de ce volcanisme représente une superficie de 18.000 hectares dont l'altitude est comprise entre 1500 et 1850 mètres ; les zones les plus élevées étant situées dans la partie Nord. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1400 à 1500 mm. La température moyenne annuelle varie en fonction de l'altitude entre 17°C et 15,5°C.

Le modelé n'est relativement accidenté (mais toujours régulier et peu entaillé) que sur les édifices de scories donc sur des superficies limitées et bien circonscrites. La plus grande partie présente une topographie d'ondulations à pentes faibles (inférieures à 10 %) sans formes d'érosions importantes.

Ces sols "chocolat" se différencient des sols rouges sur basaltes anciens par leur teinte un peu plus sombre (brun-rougeâtre) due à un taux élevé de matière organique, leur structure mieux développée, leur profondeur moindre. Enfin ils sont toujours intensément cultivés.

2. CARACTERES MORPHOLOGIQUES ET ANALYTIQUES

. L'horizon humifère est généralement bien développé (20 à 30 cm), de couleur brun-rougeâtre foncé ("chocolat"). Il est riche en nombreuses racines fines (toujours cultivé). La structure de cet horizon est toujours faiblement développée. A l'état sec la consistance est cendreuse et friable. La texture est argilo-limoneuse à limono-argileuse. Le taux de matière organique est élevé (10 à 18 %). Le rapport C/N est de l'ordre de 15-16. Le pH est compris entre 5 et 5,5. La capacité d'échange élevée (comprise entre 20 et 30 mé/100 g de sol), est due à la richesse en matière organique (elle diminue rapidement en dessous de l'horizon humifère). Le taux de saturation est bas, de l'ordre de 5 à 7 %.

. L'horizon intermédiaire de 20 à 40 cm d'épaisseur, est encore riche en matière organique (5 à 10%); il est de couleur brun-rougeâtre ("chocolat"). La structure est peu développée (polyédrique moyenne émoussée). La consistance est friable. La texture est argileuse (50 à 60 % d'argile). Le pH est compris entre 5 et 6. La capacité d'échange est comprise entre 3 et 7 mé/100 g de sol. Le taux de saturation est bas (5 à 10 %).

. L'horizon B est peu épais (50 à 100 cm) ; il est de couleur plus vive que les horizons supérieurs (rouge sombre) et très homogène jusqu'à la roche mère. Il possède une structure polyédrique anguleuse moyenne bien développée, avec une sous-structure polyédrique fine. La consistance est friable. La texture est argileuse. La teneur en matière organique est inférieure à 2 %. Le pH est compris entre 5 et 6. La capacité d'échange est inférieure à 3 mé/100 g de sol. La saturation du complexe absorbant est inférieure à 8 %.

. L'horizon d'altération est toujours très peu épais (10 à 30 cm). On passe rapidement de l'horizon B à la roche basaltique scoriacée non altérée. Cette zone d'altération est composée d'un mélange de blocs scoriacés noirâtres et de terre rouge identique à celle de l'horizon B.

. La roche-mère est la plupart du temps, soit la coulée basaltique scoriacée, soit des projections de scories.

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

Ces sols ont été bien étudiés par C. ZEBROWSKI dont les conclusions sont les suivantes : dans l'horizon B, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ particulièrement faible est compris entre 0,1 et 0,3. Les analyses montrent qu'il n'existe pas de produits siliceux amorphes dans le profil, ni de produits alumineux et ferrugineux. Parmi les produits cristallisés on trouve toujours une *quantité très importante de gibbsite* à tous les niveaux du profil. Le fer est à l'état d'hématite en *quantité importante* qui donne sa coloration rouge au sol. Il n'y a pratiquement pas de goethite contrairement aux "sols de montagne" (sols bruns ferrallitiques humifères et andosols) pour lesquels l'absence de dessiccation (saison sèche peu accentuée) explique cet état hydraté du fer. Les sols "chocolats" à plus faible altitude, sont soumis à une saison sèche bien marquée. En plus de l'hématite s'observent des traces de magnétite.

Une caractéristique originale de ce type de sol est la *quasi absence de minéraux phylliteux* ; on ne trouve que des traces de

métahalloysite. Cette absence d'argile phylliteuse de néoformation s'explique par une forte lixiviation de la silice, particulièrement intense dans les sols formés sur roches volcaniques très filtrantes comme les coulées scoriacées, les projections de scories ou de cendres. Cette silice serait évacuée dès les premiers stades de l'altération avant que les alternances d'humectation et de dessiccation puissent engendrer la néoformation de minéraux phylliteux secondaires.

Ces sols sont constitués essentiellement de gibbsite et d'hématite, à l'état finement particulaire (on n'observe pas de concrétions gibbsitiques). On a affaire, suivant l'expression de SIEFFERMANN (1973), à une véritable "bauxite terreuse". L'absence d'argiles phylliteuses explique sans doute le manque de structuration des horizons humifères. Ceux-ci, du fait de l'absence de complexe argilo-humique stable, prennent fréquemment un aspect cendreux. En fait, il ne s'agit généralement pas de cendres (bien que localement on puisse avoir des "rajeunissements" par recouvrement de cendres très récentes du volcanisme de la phase 3) mais d'un mélange de particules très fines de gibbsite et de matière organique.

L'horizon humifère de ces "sols chocolat" ressemble donc beaucoup à celui des sols andiques (richesse en matière organique, friabilité, aspect cendreux, absence de structure). Il se forme un complexe gibbsite-matière organique stable qui favorise le maintien et l'accumulation progressive de cette matière organique.

Pour cette raison, nous proposons de nommer ces sols : "sols ferrallitiques fortement désaturés humifères andiques" sur roche volcanique très filtrante : ZEBROWSKI propose le terme de "ferrallitique allitique" pour insister sur l'absence d'argile phylliteuse et la dominance de "gibbsite terreuse".

4. QUALITES AGRICOLES - APTITUDES AU BLE PLUVIAL

Les sols "chocolat" du Vakinkankaratra sont toujours intensément cultivés. Ils sont situés dans une région très peuplée et d'accès aisé. Ces sols présentent une bonne fertilité due essentiellement à leur richesse en matière organique qui accroît la capacité d'échange dans les 30 à 60 premiers centimètres. Après les andosols peu différenciés du volcanisme holocène (voir ci-dessous), ces sols sont parmi les meilleurs de la région. Ils ne présentent pas de contraintes particulières si ce n'est parfois un léger engorgement de surface lors des grosses pluies dû à l'absence de structure de l'horizon humifère. Cet engorgement ne dure pas suffisamment longtemps pour affecter le développement du blé.

L'obstacle à la culture du blé est d'un autre ordre ; il vient de la concurrence de la part des cultures vivrières. Contrairement au domaine d'altitude 1800-2000 mètres (sols ferrallitiques bruns humifères), les surfaces non utilisées, disponibles pour le blé, sont inexistantes.

V. LES ANDOSOLS PERHYDRATES MELANIKES (SOLS "NOIRS") SUR VOLCANISME ANCIEN

1. SITUATION ET ENVIRONNEMENT

Les sols noirs apparaissent à partir de 2000/2100 mètres d'altitude et on les trouve jusqu'au sommet de l'Ankaratra (2643 mètres). Ils représentent une superficie d'environ 50.000 hectares. Ils prennent peu à peu le relais des "sols bruns", par augmentation du taux de matière organique et de l'épaisseur de l'horizon humifère qui en même temps s'assombrit. Cette accumulation de matière organique est surtout le fait d'une diminution des températures, peu favorable à l'activité biologique. A ces altitudes, la température moyenne annuelle est comprise entre 9°C (Tsiafajavona) et 14°5 (2000 mètres). La pluviométrie est de 2000 à 2500 mm. La saison sèche est peu marquée (Juin à Août).

La *végétation naturelle* est une prairie steppique pseudo-alpine à éricacées en forme de coussinets ou de touffes globuleuses et à graminées en touffes ou en petit gazon ras, associées à des mousses et lichens ; les milieux mal drainés sont occupés par des cyperus (*Cyperus madagascariensis*), carex (*Kyllinga*) et des plantes endémiques variées car non touchées par les feux : *Sacciolepis*, *Tylostigma*, *Brachypodium*, *Poa*. Sur les zones pentues et rocailleuses, à sols andiques peu épais, dominent les *Helichrysum*, *Aloe*, *Kalanchoe*, des petites cactées. On y trouve de nombreuses plantes endémiques : *Nicodemia*, *Pimpinella*, *Pencedanum*, *Kniphofia*, *Habenaria*. La forêt naturelle (si elle a jamais existé) a disparu.

Les *pent*es sont généralement fortes, sauf dans les larges vallons, cuvettes, têtes de vallées évasées en amphithéâtres et plateaux ondulés, mal drainés, encastrés entre des versants pentus.

Les sols noirs ne sont pratiquement pas cultivés. Ils sont utilisés le plus souvent comme paturages pendant la saison sèche.

La plupart du temps le *substratum* est composé de roches basiques anciennes (Ankaratrites, basaltes). Mais on trouve aussi des sols noirs sur roches acides (dômes trachytiques). La roche mère influe assez peu sur la morphologie et les propriétés de ces sols. Il n'est pas impossible que ce matériau ait subi, au cours du quaternaire des remaniements d'origine périglaciaire (gélifraction, réptation, cryoturbation) comme le laisse penser l'aspect souvent fragmenté des formations superficielles des versants.

2. MORPHOLOGIE ET CARACTERES ANALYTIQUES

. L'horizon organique supérieur (A11) est épais de 20 à 40 cm. Sa couleur est noire. Il montre un enchevêtrement dense de racines et présente souvent un aspect de tourbe spongieuse, spécialement lorsque la pente générale est faible. Cet horizon a la propriété de tacher fortement les doigts. En conditions naturelles, il est toujours humide. La porosité est toujours très forte. La teneur en matière organique, très élevée, est comprise entre 20 et 30 % ; le rapport C/N est élevé, de l'ordre de 20. Le rapport humus/matière organique est égal à 0,3 ; l'humification est donc faible. L'horizon a un toucher limoneux, mais la texture est argileuse (50 à 60 % d'argile, 25 à 40 % de limon, 10 % de sable). La

capacité d'échange est forte (30 à 45 mé/100 g de sol), mais l'horizon est fortement désaturé (saturation inférieure à 1 %). Le pH est acide, compris entre 4,5 et 5. La teneur en phosphore total est assez élevée (2000 à 3000 ppm), mais celle en phosphore assimilable est faible (100 à 200 ppm).

. *L'horizon organique inférieur (A₁₂)* de 20 à 50 cm d'épaisseur est de couleur brune à brun-foncé. Il est intermédiaire entre l'horizon noir supérieur et l'horizon B inférieur plus vivement coloré. On y trouve encore de nombreuses racines, mais pas de feutrage. Cet horizon comme, l'ensemble du profil, est constamment humide et non structuré. Il présente une faible densité apparente (0,5). La dessiccation du matériau est irréversible, c'est à dire qu'une fois desséché, il ne se réhumecte plus ; il donne alors des agrégats polyédriques fins très durs. A l'état naturel, hydraté, du fait de sa forte teneur en eau (jusqu'à 200 %), il possède des propriétés thixotropiques ; le "test au couteau" marche très bien : enfoncé rapidement celui-ci rentre très facilement car le matériau passe alors à l'état liquide localement ; mais il faut ensuite faire un effort pour retirer le couteau ; en effet, l'adhérence est forte car l'eau libérée précédemment a de nouveau réintégré le sol ; en tirant sur le couteau celui-ci ne vient qu'en arrachant une motte adhérant à la lame. La teneur en matière organique est élevée (10 à 15 %) ; le rapport C/N est de l'ordre de 22. Le rapport humus/matière organique est égal à 0,5. La texture est argileuse (40 à 60 % d'argile, 30 à 40 % de limon, 10 à 12 % de sable). La capacité d'échange est élevée (20 à 40 mé/100 g de sol), mais le complexe absorbant est très désaturé ($V < 1$ %). Le pH est acide (4,5 à 5). Le phosphore total est en forte quantité (2000 à 4000 ppm), mais la teneur en phosphore assimilable est faible (moins de 150 ppm).

. *L'horizon B* a une épaisseur de 30 à 70 cm. Il est de couleur brun-rougeâtre, ocre ou brun-jaunâtre (suivant la richesse en fer de la roche-mère), sans taches. Le matériau possède un toucher savonneux, non collant toujours humide (perhydraté), il ne montre pas de structure, mais est très poreux. Desséché artificiellement, il se fragmente en petits agrégats polyédriques anguleux durs. Il présente des propriétés thixotropiques très nettes, le "test au couteau" est fortement positif. La texture est argileuse (50 % d'argile, 30 à 40 % de limon, 10 à 20 % de sable). La teneur en matière organique est encore relativement élevée (2 à 6 %). Le rapport C/N est égal à 20 ; le rapport humus/matière organique est de l'ordre de 0,6 à 0,7. Le complexe absorbant a une capacité d'échange comprise entre 20 et 30 mé/100 g de sol. Il est toujours fortement désaturé ($V < 1$ %) ; le pH est acide, de l'ordre de 5. On note une forte quantité de phosphore total (3000 à 5000 ppm).

. *L'horizon d'altération* est généralement peu épais (20 à 50 cm). La roche "pourrie" où on reconnaît quelques cristaux très altérés, est de couleur jaunâtre à brune, généralement plus claire que celle de l'horizon B. Cet horizon, comme l'horizon B, est toujours perhydraté, très léger, poreux, thixotrope et à toucher limoneux.

. *La roche mère* : Basalte ou ankaratrite noirâtre, ou trachyte massif plus clair ; il s'agit parfois de projections cendreuse ou ponceuses litées trachytiques (SSE de Vinaninony).

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

Les andosols de l'Ankaratra possèdent un mélange de produits amorphes et de produits cristallisés : la teneur en silice amorphe est très faible (moins de 3 % de la silice totale) dans les horizons non organiques et augmente vers la surface (3 à 10 % de la silice totale), en liaison avec l'augmentation du taux de matière organique peu minéralisée. L'aluminium amorphe quant à lui représente 35 % de l'aluminium total. Les teneurs en fer amorphes sont élevées (45 % du fer total).

En dehors du fer, les produits amorphes sont donc des allophanes fortement aluminiques, pauvre en silice.

Parmi les minéraux secondaires cristallisés, le fer est essentiellement à l'état de goethite. On trouve une quantité assez importante de kaolinite et de gibbsite.

La présence de gels amorphes et d'allophanes aluminiques dans de tels sols anciens s'explique par un climat froid et humide en permanence. Celui-ci favorise l'accumulation de matière organique qui, avec les allophanes, donne des complexes très stables, retardant la cristallisation. Celle-ci est d'autant plus gênée que ces sols ne se dessèchent pas.

Ces sols, comme les sols ferrallitiques de plus basse altitude ont cependant subi une hydrolyse poussée des minéraux primaires, avec évacuation des bases et d'une grande partie de la silice. La différence avec les sols ferrallitiques typiques est qu'une grande partie des éléments libérés, en particulier l'aluminium reste à l'état amorphe. Ce mélange d'amorphes et de minéraux secondaires cristallisés peut nous inciter à parler pour ces sols, de sols ferrallitiques fortement désaturés andiques. Cependant, la profondeur d'altération et l'épaisseur du profil généralement réduits, ainsi que la très grande richesse en matière organique sont des caractères incompatibles avec ceux des sols ferrallitiques. Aussi est-il préférable de classer ces sols dans les *andosols perhydratés mélaniques fortement désaturés*.

4. QUALITÉ AGRICOLE - APTITUDE AU BLE PLUVIAL

Ces sols présentent un certain nombre d'inconvénients. La présence d'une grande quantité de matière organique liée fortement aux allophanes et d'un enchevêtrement racinaire très dense, confère aux andosols perhydratés de l'Ankaratra une très forte capacité de rétention en eau. En hivernage ils sont constamment gorgés d'eau libre dans les 50 premiers centimètres qui constituent une éponge et un milieu hydromorphe (nappe perchée) néfaste aux enracinements, spécialement celui du blé.

D'autre part, les andosols sont très carencés en phosphore assimilable, bloqué par les allophanes. Pour cette raison l'efficacité de la fertilisation phosphatée risque d'être réduite. Comme pour les autres sols, l'acidité des andosols (pH compris entre 4,5 et 5) pose un problème pour la culture du blé ; ce pH devrait être remonté au moins jusqu'à 5,5.

Enfin, en plus de ces caractéristiques intrinsèques assez défavorables, ces sols occupent le plus souvent des positions topographiques accidentées, les pentes sont souvent fortes (supérieures à 12 %) et en tout cas très irrégulières. Lorsque la pente diminue (ensellements, gouttières et petites plaines d'altitude) le drainage est fortement ralenti et les sols passent à des sols tourbeux incompatibles avec la culture du blé.

Les andosols perhydratés sont donc peu propices à la culture du blé. Ils ne sont actuellement pratiquement pas cultivés. Ces sols doivent être réservés aux pâturages.

VI. LES ANDOSOLS PEU DIFFERENCIES SUR PROJECTIONS VOLCANIQUES TRES RECENTES

1. SITUATION GENERALE ET ENVIRONNEMENT

Ces sols, les plus fertiles de la région, se rencontrent sur les projections volcaniques (cendres et scories) très récentes (phase 3, holocène), essentiellement basiques (voir carte géologique). Ce volcanisme occupe 3 régions principales :

- *Le Vakinankaratra occidental* (régions de Bétafo et de Tritriva) qui représente environ 5800 hectares. Il s'agit d'émissions basiques ("basanites") comprenant des cônes de scories (une dizaine), des coulées rugueuses et chaotiques dont la plus étendue est celle qui a rempli la vallée de l'Iandratsay, et enfin des projections cendro-scoriacées qui ont saupoudré les alentours des cratères. Ces zones à projections sont seules envisageables pour la culture du blé car les pentes y sont relativement faibles et un début d'altération andique a pu se manifester. Les coulées sans recouvrement ni altération, ainsi que les cônes pentus ne sont pas utilisables pour le blé.

Il y a trois nappes principales de projections, situées autour de 3 ensembles de cônes : les projections de Bétafo (environ 1400 hectares), les projections de Ialalo (550 hectares) entre Bétafo et Tritriva, et les projections de Tritriva (1200 hectares).

L'altitude de ces régions est comprise entre 1400 (Bétafo) et 1750 mètres (Tritriva). Elles sont toujours intensément cultivées.

- *La région de l'Itasy* (à l'Ouest du lac Itasy) occupe une superficie de l'ordre de 30.000 hectares. Cette région est parsemée de très nombreux cônes de projections basiques (environ 150) et de quelques gros dômes extrusifs trachytiques. Aux pieds de ces édifices s'étendent des coulées basaltiques rugueuses et sans sols et des nappes de saupoudrages cendro-scoriacées basiques (basanites). Il n'y a pratiquement pas de projections acides trachytiques, si l'on retire les coulées inaltérées sans recouvrement de projections et les édifices pentus, pour ne conserver que les projections à pentes faibles et à sols andiques, celles-ci ne forment qu'une superficie cultivable d'environ 6.000 hectares. Ceux-ci occupent la partie orientale du volcanisme de l'Itasy suivant une bande N-S de moins de 5 km de long, passant par Analavory, Ampefy, et Soavinandriana. Leur altitude est comprise entre 1150 mètres au Nord et 1450 mètres au Sud. C'est une région qui est "chaude" (propice aux accidents phytosanitaires), surtout la région d'Analavory. La température moyenne annuelle à Soavinandriana est de 17°8. La bonne qualité des sols peut cependant justifier la culture du blé. Malgré tout la forte occupation actuelle des

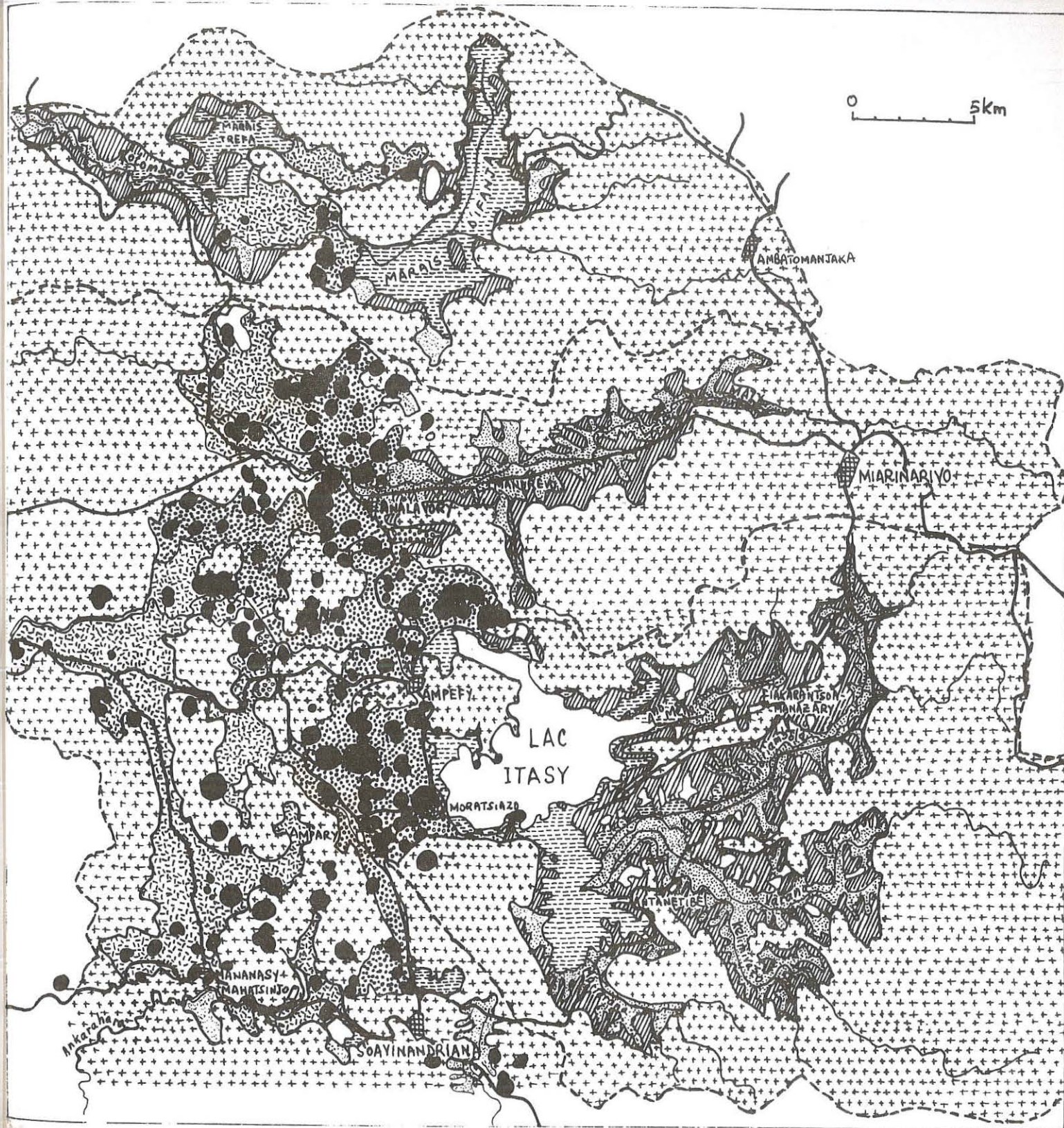


Fig. 6 LA REGION DU LAC ITASY
ESQUISSE GEOMORPHOLOGIQUE

- | | |
|--|--|
| Reliefs accidentés du socle cristallin. | Projections basaltiques (scories et cendres) holocène. |
| glacis quaternaire ancien. | Plaines et vallées alluviales, bas-fonds. |
| Cône de scories basaltique (holocène) ou dôme trachytique. | gouttières colluvo-alluviales mixtes, basalto-granitiques. |
| Coulée basaltique (holocène). | Marécages. |

terres (cultures vivrières et arbustives) pourra limiter l'implantation de cette culture.

- *Les projections trachytiques de l'Ambohimadinika* : situées 20 à 25 km au Nord d'Antsirabe, ces cendres et ponces acides holocènes, récemment identifiées par ZEBROWSKI et MOTTET occupent environ 8500 ha. Elles saupoudrent les formations volcaniques antérieures disséquées (volcanismes 1 ou 2). Le recouvrement est variable (50 cm à 3 mètres) suivant les endroits, et semble t'il suivant l'éloignement du massif récent de l'Ambohimadinika qui serait à l'origine des projections.

Ces projections occupent une zone d'altitude comprise entre 1800 et 2200 mètres. Le modelé est généralement accidenté car les projections recouvrent un relief de volcanisme ancien déjà très disséqué.

Les sols andiques qui s'y sont développés sont toujours très cultivés.

2. MORPHOLOGIE ET CARACTERES ANALYTIQUES

2.1. *Les andosols peu différenciés sur projections basiques*

Les sols jeunes développés sur cendres et scories mélangées ou alternées, sont de couleur sombre dans leur partie supérieure : noirs et tachants à l'état humide, gris et cendres à l'état sec. Cet horizon humifère a une épaisseur de 20 à 60 cm. Cette épaisseur dépend de la position topographique : faible dans les parties hautes, importante dans les bas de pentes ; il présente une texture limoneuse ; des petits graviers de scories sont encore présents ; le taux de matière organique est élevé (10 à 15 %) ; celle-ci présente un rapport C/N de 14 à 16. La structure polyédrique émousée est fragile ; la consistance est très friable et la porosité élevée ; la densité apparente est de l'ordre de 0,9.

En-dessous de l'horizon organique qui en fait forme le sol andique proprement dit, on passe assez rapidement au matériau volcanique peu altéré formé de scories plus ou moins fines et litées ; on trouve d'abord une zone de transition (horizon B) de 20 à 40 cm d'épaisseur de couleur brune à brun-jaune, de texture limono-sableuse (sables très fins), et de consistance très friable. Puis on passe vers 1 mètre de profondeur aux scories altérées de couleur jaunâtre (enduits humo-ferrugineux), d'aspect sablo-gravillonnaire, avant d'arriver aux scories litées non altérées, de couleur plutôt noirâtre souvent assez compactées et peu pénétrables aux racines.

Ces sols présentent une capacité d'échange élevée, de l'ordre de 30 mé/100 g de terre, dans l'horizon humifère (complexe saturé à 20% en moyenne) et de 15 à 20 mé/100 g dans l'horizon jaune (B) sous-jacent. Le pH est de 5,5 à 6 dans l'horizon humifère et de 6 à 6,5 en dessous. Ces sols ont de bonnes réserves minérales, sauf en phosphore (forte carence).

2.2. Les andosols peu différenciés sur projections acides

Les projections très récentes des alentours du volcan Ambohimadinika, contrairement à celles du Vakinkankaratra et de l'Itasy sont trachytiques acides.

Les sols qui s'y sont développés sont en fait assez semblables aux sols décrits précédemment : présence en surface d'un horizon sombre (gris-noirâtre), d'aspect cendreuse de 20 à 50 cm d'épaisseur, de texture limoneuse à limono-sableuse et très friable ; la teneur en matière organique est élevée (de l'ordre de 10 %) ; le pH est de 5,5 ; la capacité d'échange est élevée (20 à 30 mé/100 g de terre) et la saturation est de 15 à 20 %. Ce sol possède donc une bonne fertilité, malgré la carence habituelle (comme pour les autres sols) en phosphore.

Sous l'horizon humifère, sur 20 à 50 cm d'épaisseur, on trouve les lits de ponces trachytiques plus ou moins grossière (sable, graviers) peu soudées, de couleur jaunâtre (enduits humo-ferrugineux). En dessous les projections trachytiques plus grossières blanchâtres ne sont pas altérées. Très souvent les projections récentes reposent directement sur un paléosol rouge ferrallitique développé sur basalte plus ancien.

3. TYPE D'ALTERATION - MINÉRALOGIE

Cet aspect a été étudié par C. ZEBROWSKI (1971). Dans les sols sur projections basiques, les teneurs en produits amorphes sont importantes : la silice amorphe représente 20 à 30 % de la silice totale dans l'horizon C ; elle diminue vers le haut du profil où elle n'est plus que de 8% au sommet de l'horizon B et inexistante dans l'horizon A. Le fer amorphe représente 40 à 55 % du fer total ; cette valeur est stable dans tout le profil. Enfin la teneur en aluminium amorphe est de 40 à 55 % de l'alumine totale et est relativement constante dans le profil.

Cette silice amorphe (comme les autres éléments amorphes) est un héritage des scories. En effet, dans les scories inaltérées elle représente 33 % de la silice totale. Il s'agit donc de "silice amorphe primaire". La diminution de celle-ci dans le haut du profil peut s'expliquer en partie par un lessivage (intense dans ces sols très filtrants) et en partie par son intégration dans des complexes silico-organiques ou allophano-organiques, et ainsi difficilement dosable.

Les minéraux cristallisés sont en faible quantité. On observe des traces de gibbsite et de kaolinite (ou métahalloysite), qui sont d'autant plus nettes que le sol est plus "évolué", c'est à dire que son horizon B jaunâtre est plus épais.

Les sols sur projections acides sont encore plus riches en silice mais par contre un peu moins riches en fer que les sols sur scories basaltiques. Cela reflète les différences de composition chimique des 2 types de projections (voir tableau 9).

La richesse de tous ces sols en produits amorphes, en grande partie des "amorphes primaires" issus directement des scories, la richesse en matière organique, la faible densité apparente, ainsi que la faible épaisseur des sols, nous conduisent à classer ceux-ci parmi les *andosols peu différenciés désaturés mélaniques*. Il s'agit de sols jeunes, qui contrairement aux andosols perhydratés d'altitude sur roches volcaniques anciennes, subissent naturellement une dessiccation annuelle en saison sèche. Ces sols évolueront vraisemblablement peu à peu vers des "sols chocolat" (voir précédemment), à très fort lessivage en silice, empêchant la néoformation de minéraux phylliteux, et où seul resteront en place la gibbsite et le fer.

4. QUALITES AGRICOLES - APTITUDES AU BLE PLUVIAL

Tous les andosols peu différenciés sur projections sont déjà intensément cultivés, essentiellement pour la culture du maïs et du haricot. Ces sols sont considérés comme les plus riches de la région.

Les teneurs élevées en matière organique et en produits amorphes leur confèrent une capacité d'échange élevée. Les réserves minérales sont importantes (Ca, Mg, K) malgré une forte carence en phosphore ce qui impose une importante fumure de fond. Ils sont cependant très fragiles et demanderont une protection anti-érosive (plus spécialement la région de l'Ambohimadinika).

Ces sols sont susceptibles de donner d'excellents rendements en blé. Ce sont les régions de Bétafo et surtout Tritriva qui offrent les meilleures conditions de milieu : altitude supérieure à 1400 mètres, pentes relativement douces. La région de l'Itasy risque d'être trop chaude dépréciant les rendements (maladies, cycle plus court). Enfin la zone située en aval de l'Ambohimadinika est trop accidentée (pentes souvent supérieures à 15 %) et les risques d'érosion importants pour une culture telle que le blé. Seul le recouvrement cendreuse sur les alluvions lacustres (environ 2100 hectares) est vraiment intéressant.

Mais partout, les sols andiques sur projections très récentes sont fortement cultivés et laissent peu de place à une culture nouvelle comme le blé.

APTITUDES DES TERRES AU BLE PLUVIAL

Dans cette région l'aptitude d'un type de milieu au blé pluvial dépend essentiellement des quatre composantes principales suivantes :

- le climat,
- la qualité des sols,
- la topographie,
- l'occupation actuelle des terres.

La pondération qualitative des trois paramètres physiques fondamentaux (climat, sol, relief) nous permet d'établir une hiérarchisation des terres de la région Ankaratra-Vakinankaratra-Itasy.

Bien entendu cette classification relative sera à moduler en fonction de la densité des cultures vivrières et arbustives ou des plantations d'arbres existantes.

1. APTITUDE DES TERRES EN FONCTION DU SEUL FACTEUR "SOL"

Du point de vue strictement pédologique, l'étude systématique des sols et de leurs résultats culturels, nous permet d'opérer le classement suivant :

Zone Volcanique :

1. Andosols peu différenciés sur projections très récentes (Itasy, Bétafo, Tritriva, Ambohimadinika)
2. Sols "chocolat" sur basalte récent : sols ferrallitiques fortement désaturés humifères andiques (région Ouest d'Antsirabe)
3. Sols "bruns" sur volcanisme ancien : Sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques humifères (Moyen-Ankaratra 1800-2000/2100 mètres d'altitude)
4. Sols "rouges" sur basaltes anciens : Sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques typiques (Bas-Ankaratra, 1500-1800 mètres d'altitude)
5. Sols "rouge" et "ocre-jaune" sur alluvions volcano-lacustres : Sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques humifères (bassins d'Antsirabe, de Bétampona, d'Antanifotsy-Ambohimandroso)
6. Sols "noirs" sur volcanisme ancien : Andosols perhydratés mélaniques (Haut-Ankaratra, plus de 2000/2100 mètres d'altitude)

Zone non volcanique :

7. Sols "rouges", "jaune/rouge", "rose" sur socle cristallin : Sols ferrallitiques fortement désaturés gibbsitiques
8. Sols fortement hydromorphes ou tourbeux : Cuvettes d'Ambohibary-Sambaina, Vinaninony, Faratsiho, Ifanja et alluvions hydromorphes de l'Onive (que nous avons oublié de mentionner sur nos cartes)
9. Reliefs résiduels rocheux : lithosols dominants (massif des Vavavato).

Sur l'esquisse morpho-pédologique ces unités ont été représentées en figurés homogènes. En fait il ne s'agit évidemment pas d'unités pures mais de dominances. En particulier, les reliefs rocheux disséminés, les dépressions hydromorphes (bas-fonds, zones dépressionnaires, vallées alluviales), les zones cuirassées (sur les sols "rouges" et les sols "bruns"), représentent des "déchets" rhédibitoires pour le blé qu'il nous faudra évaluer en pourcentage dans leur ensemble si l'on veut apprécier la superficie réelle utilisable. Dans ces déchets nous inclurons aussi (voir plus loin) les zones à topographie trop accidentée.

Pour les raisons exposées en introduction, nous ne mentionnons que pour mémoire les zones non volcaniques (socle cristallin, et grandes cuvettes) qui présentent une fertilité vraiment trop faible pour une culture exigeante telle que le blé.














2. CORRECTION DE CETTE HIERARCHISATION EN FONCTION DES FACTEURS CLIMATIQUES ET TOPOGRAPHIQUES

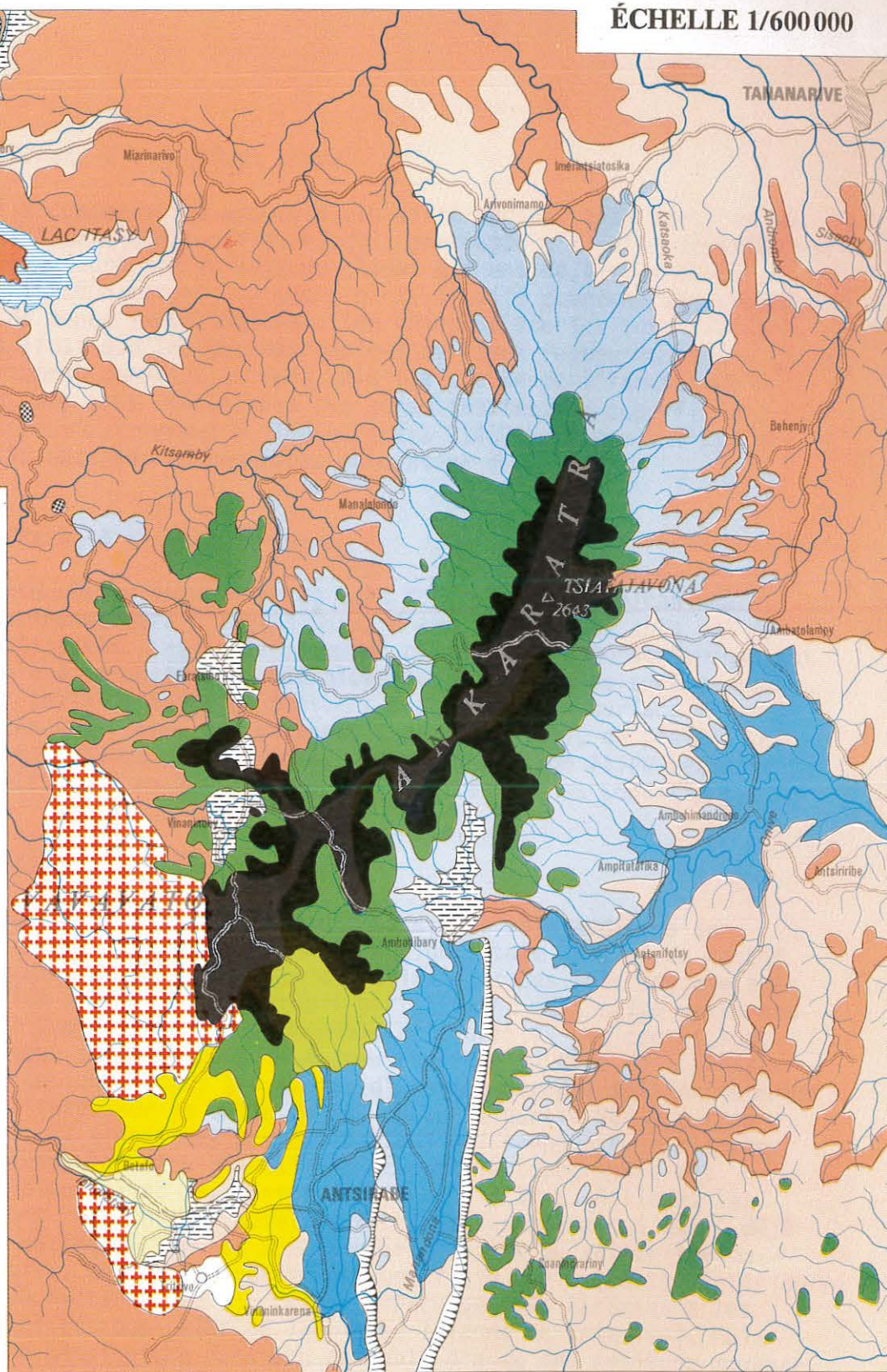
Si cette fois nous prenons en compte le milieu physique dans son ensemble, la classification d'aptitude précédente diffère quelque peu et s'élargit, spécialement en ce qui concerne les sols de bonne fertilité : on arrive ainsi à 13 classes d'aptitudes dont 9 concernent les régions volcaniques qui nous intéressent essentiellement :

. Classe 1 : Aptitude très bonne

Il s'agit des andosols peu différenciés sur projections très récentes de la région de Tritriva. A la fertilité excellente des sols s'ajoutent un climat très favorable (1700-1800 mètres d'altitude) et un modelé peu accidenté. Les "impuretés" de cette unité se limitent aux flancs du cratère de Tritriva lui-même qui ne sont pas utilisables pour le blé, ainsi qu'à quelques bas-fonds. La surface "utile" est de l'ordre de 1000 hectares.

CLASSIFICATION D'APTITUDE

RÉGION DE TRITRIVA		TRÈS BONNE
RÉGION DE BETAFO		BONNE
OUEST ANTIRABÉ		BONNE
AMBOHI-MADINIKI		MOYENNE
MOYEN ANKARATRA		MOYENNE
BAS ANKARATRA		MOYENNE À MÉDIOCRE
BASSINS VOL-CANO-LACUSTRES		MOYENNE À MÉDIOCRE
RÉGION DE L'ITASY		MÉDIOCRE
HAUT ANKARATRA		MAUVAISE
SOCLE PEU DISSÉQUÉ		MAUVAISE
SOCLE TRÈS DISSÉQUÉ		TRÈS MAUVAISE
CUVETTES HYDROMORPHES		NULLE
VAVAVATO		NULLE



RÉGION ANKARATRA - VAKINANKARATRA - ITASY

APTITUDES DES TERRES AU BLÉ PLUVIAL

D'APRÈS LES CRITÈRES : CLIMAT - SOLS - RELIEF

Fig. 7

. *Classe 2 : Aptitude bonne.*

Elle concerne les andosols peu différenciés, très fertiles de la région de Bétafo-Ialalo (fig. 4) qui, par rapport à celle de Tritriva est légèrement dépréciée du fait du climat qui est déjà plus chaud (altitude 1400-1600 mètres). D'autre part, l'unité comprend une proportion importante de zones inutilisables : les cônes de scories (une dizaine), trop pentus ainsi que les grandes coulées de laves rugueuses et chaotiques sans recouvrement cendreuse et sans sols (la coulée de l'Iandratsay en particulier). Une fois retranchées ces zones inaptes, la superficie utile se réduit approximativement à 2150 hectares (1400 hectares à l'Est de Bétafo et 750 hectares en contrebas du cratère de Ialalo).

. *Classe 3 : Aptitude bonne*

Cette classe intéresse les sols "chocolat" sur volcanisme récent du Vakinankaratra (région Ouest d'Antsirabe). Ces sols ont de bonnes potentialités. Leur environnement climatique et topographique est très favorable à la culture du blé pluvial. Il y a peu de surface non utilisable : celle-ci que nous évaluons à 25 % de la surface totale, est constituée des flancs des cratères (une quinzaine), de pentes supérieures à 20 %, et des bas-fonds. Au total environ 13500 hectares seraient cultivables en blé pluvial dans de très bonnes conditions.

. *Classe 4 : Aptitude moyenne*

Nous avons rangé dans cette classe, les sols andiques sur projections acides très récentes de la région située en aval du massif de l'Ambohimadinika (22 km au Nord d'Antsirabe) ; Ces sols ont une très bonne fertilité et le climat convient parfaitement mais cette unité est dépréciée par une topographie d'ensemble défavorable. Les pentes sont très fréquemment supérieures à 30 %, peu compatibles avec des cultures de blé qui occasionneraient des dégâts d'érosion sur ces sols extrêmement fragiles. A l'intérieur de cette unité, seule la partie Sud est très intéressante ; il s'agit des projections qui ont saupoudré le plancher du bassin volcano-lacustre d'Antsirabe et dont la topographie est pratiquement plane, avec des pentes inférieures à 10 %. Ailleurs les projections ont recouvert un modelé sur basaltes anciens qui était déjà profondément disséqué. Sur les 8500 hectares totaux du volcanisme de l'Ambohimadinika, on peut apprécier la superficie utile (pentes inférieures à 10 %) à 2100 hectares (25 %). Cette surface de 2100 hectares a les mêmes potentialités que celles de la classe 1 (zone de Tritriva). Mais l'unité morpho-pédologique dans son ensemble n'a qu'une aptitude moyenne. Seule une prospection détaillée, axée sur les pentes et l'érosion, pourrait permettre de délimiter les zones intéressantes de cette grande unité.

. Classe 5 : Aptitude moyenne

Cette classe a également une aptitude moyenne, mais pour des raisons très différentes des précédentes, imposant d'en faire la distinction. Elle concerne le *moyen-Ankaratra* c'est à dire les plateaux, planèzes et leurs versants située entre 1800 et 2000/2100 mètres d'altitude sur volcanisme ancien ; c'est le domaine des "sols bruns ferrallitiques humifères" de qualité moyenne. Les conditions climatiques sont bonnes pour le blé. Le relief d'ensemble est cependant irrégulier associant des pentes faibles à moyennes (moins de 20 %) sur les plateaux et sommets de croupes, des pentes fortes (jusqu'à 60 %) sur les grands versants des vallées profondes, les bordures des grands massifs trachytiques. Les pentes supérieures à 20 % (plus nombreuses sur le versant oriental que sur le versant occidental seront à éliminer pour le blé, culture très érosive ; d'autre part dans cet ensemble "moyen Ankaratra" de 78.000 hectares, il faudra également éliminer les zones dépressionnaires et hydromorphes situées dans les larges gouttières (à l'intérieur du "plateau" d'Ambatondradama par exemple) et certaines parties mal drainées des plateaux. Malgré tout il subsiste de vastes surfaces dont le milieu "hydromorpho-pédologique" convient bien au blé pluvial. Nous évaluons cette superficie à 60 % de la surface totale soit 47.000 hectares. La localisation des zones les plus aptes demanderait une cartographie plus détaillée. Compte tenu de l'étendue de ce type de milieu une telle étude nous semblerait particulièrement justifiée.

. Classe 6 : Aptitude moyenne à médiocre

C'est le domaine des sols ferrallitiques "rouges" sur basaltes anciens développés sur les vastes plateaux et planèzes du *bas-Ankaratra*, entre 1500 et 1800 mètres d'altitude. Ces sols rouges d'une fertilité médiocre se trouvent dans un contexte climatique variable, moyen à bon, suivant qu'ils sont situés sur la façade orientale ou occidentale (plus chaude). Les planèzes orientales ont donc une légère "plus value" par rapport aux planèzes situés à l'Ouest et au Nord. Par contre les parties terminales de ces plateaux, lorsqu'elles sont situées en dessous de 1500 mètres d'altitude (région d'Arivonimamo-Imerintsiosika) seront dépréciées.

Concernant le modelé, les plateaux du *bas-Ankaratra* ont une topographie favorable à la culture du blé ; les pentes sont inférieures à 10 %. Seuls seront à éliminer les versants des vallées. Aux "impuretés" à retrancher de la superficie totale de l'unité (140.000 hectares) il y a également les bas-fonds et les zones cuirassées (toujours très localisées). La surface "utile" est ainsi de l'ordre de 75 %, soit 105.000 hectares, ce qui est considérable.

. Classe 7 : Aptitude moyenne à médiocre

La classe 7 concerne les sols ferrallitiques "rouges" et "ocre-jaune" développés sur les alluvions lacustres des bassins d'*Antsirabe* 11.900 hectares, de *Bétampona* (du nom du grand escarpement de faille qui le domine), 18.100 hectares, d'*Antanifotsy-Ambohimandroso*, 21.875 hectares.

Les conditions climatiques de saison des pluies conviennent bien au blé. La topographie ne pose aucun problème. Mais c'est la qualité médiocre des sols qui constitue le principal inconvénient. Ils ont une fertilité légèrement inférieure aux mêmes sols développés sur basaltes anciens.

Les bassins d'Antsirabe et de Bétampona constituent en réalité le même ensemble ; celui-ci est cloisonné en deux sous-bassins par le horst du Mandray chevauché en partie par la coulée du Manatrika. Les "impuretés" sont composées des bas-fonds (assez étroits) et de leurs flancs, de vallées alluviales (Sahatsio et Manandona et leurs affluents), de massifs cristallins émergeant (Nord d'Antsirabe) et de quelques zones dépressionnaires marquées par l'hydromorphie. Ces types de milieux non cartographiables à ce niveau de reconnaissance, auxquels s'ajoute l'agglomération d'Antsirabe, représentent ensemble environ 30 % des bassins, non utilisables pour le blé. Les surfaces utiles sont donc de 8300 *hectares* pour le bassin d'Antsirabe proprement dit (à l'Ouest) et de 12 700 *hectares* pour le bassin de Bétampona à l'Est.

Dans le bassin d'Antanifotsy-Ambohimandroso sont imprimés le système alluvial de l'Onive (alluvions récentes et anciennes), à sols hydromorphes inaptes au blé, ainsi qu'un réseau de bas-fonds et des cuvettes hydromorphes peu enfoncées. Cela représente à peu près 50 % de la taille totale du bassin. Pour celui-ci la surface totale est donc de l'ordre de 11.000 *hectares*. Comme pour les unités précédentes nous insistons sur la nécessité d'une étude plus détaillée afin de préciser et de localiser les meilleures zones.

. Classe 8 : Aptitude médiocre

Malgré la bonne qualité des sols de la région de l'Itasy (sols andiques sur projections très récentes), les températures de saison des pluies, nettement plus chaudes (nous sommes déjà dans le moyen-Ouest) nous obligent à déclasser cette zone relativement aux régions précédentes. D'autre part sur les 30.000 *hectares* du volcanisme de l'Itasy seulement 20 %, soit 6000 *hectares* sont recouverts de projections cendro-scoriacées intéressantes. (voir fig. 5). Le reste est composé de grandes coulées inaltérées, sans sols et d'édifices volcaniques à très fortes pentes. Une bonne partie est occupée par des cultures arbustives (aleurites, caféiers, agrumes ...), le reste est cultivé sans jachères. Tout cela réduit considérablement l'avenir du blé dans cette région.

. Classe 9 : Aptitude mauvaise

Cette classe est attribuée aux "sols noirs" (andosols perhydratés mélaniques) du Haut-Ankaratra (altitude supérieure à 2000/2100 mètres). Cet ensemble représente 50.000 *hectares*. En plus de la qualité très médiocre des sols pour la culture du blé (nappe perchée superficielle), les conditions climatiques sont défavorables, mais pour des raisons opposées de celles de l'Itasy ; les températures sont en effet trop basses (gels) à l'époque de la maturation. Enfin, ce type de milieu est fortement accidenté. D'ailleurs dès que la pente faiblit, le sol est engorgé.

Nous estimons à 10 % (soit 5000 hectares), la surface récupérable pour le blé, situées en dessous de 2200 mètres, en pentes moyennes et à drainage correct.

. Classe 10 : Aptitude mauvaise

Seront classés dans cette catégorie les *modelés collinaires à pentes inférieures à 20 % sur socle cristallin*, regroupant sans distinction les surfaces d'aplanissement "rajeunies" (surfaces I, II et III). Il s'agit du "plateau" de Soanindrariny (surface I) à 1750-1900 mètres d'altitude, des reliefs collinaires (surface II) entourant la cuvette d'Antanifotsy-Ambohimandroso-Ambatolampy (situés vers 1650 mètres d'altitude), du "horst" du Mandray (1600-1700 mètres), de la région située au Nord d'Arivonimamo (surface II) à 1400 mètres d'altitude) et enfin des tanety de la surface III, dans la région de Tananarive (1300 mètres d'altitude) et à la périphérie du lac Itasy (1250 mètres).

Ce type de milieu est caractérisé par des sols ferrallitiques fortement désaturés rouges, ou jaune sur rouge, remaniés (à stone line), ayant une faible fertilité naturelle et de faibles potentialités pour le blé qui n'y a pas sa place, compte tenu du potentiel énorme et beaucoup plus intéressant existant par ailleurs : surtout blé de contresaison dans les bas fonds, et, potentiel plus modeste, blé pluvial sur les formations volcaniques décrites précédemment, très nettement plus fertiles que les tanety du socle.

Les facteurs climatiques sont évidemment très variables suivant l'altitude et la situation vis-à-vis du massif de l'Ankaratra. Si on décide quand même de tenter la culture du blé sur tanety, c'est certainement le plateau de Soanindrariny (à l'Est d'Antsirabe) qui offre les meilleures conditions. Puis viennent le massif du Mandray et les modelés collinaires situés au Sud et à l'Ouest de Vinaninkarena. Enfin la région de collines entourant le bassin de l'Onive (alentours d'Ambatolampy, Antsampanrano, Antsiriribe, Antanifotsy).

Dans la région de Tananarive et à plus forte raison celle du lac Itasy, la culture du blé est encore plus aléatoire : en plus de sols très médiocres, s'ajoutent des températures plus élevées.

. Classe 11 : Aptitude très mauvaise

Nous sommes toujours sur socle, mais cette fois sur les *surfaces d'aplanissement disséquées* (surfaces I, II, ou III), c'est à dire avec des pentes fortes, des figures d'érosion nombreuses ("lavaka", arrachements) et des sols ferrallitiques généralement tronqués jusqu'à la zone d'altération, donc à propriétés physiques défavorables : absence de structure, prise en masse, faible réserve en eau due aux fortes proportions de sables.

Quel que soit leur environnement climatique, ces types de milieu sont donc à écarter pour la culture du blé pluvial. Ils forment les reliefs de raccordement entre des surfaces d'aplanissement rajeunies d'âges et d'altitudes différentes : entre les surfaces I et II rajeunies (au Sud d'Antanifotsy, à l'Ouest du massif de l'Ankaratra, Sud de Tritriva) et entre les surfaces II et III rajeunies (région de Behenjy, de Miarinarivo, Sud de Soavinandriana, Ouest des Vavavato ...).

Les reliefs de dissection très accidentés et très érodés sont les plus nombreux à l'Ouest du massif de l'Ankaratra, entre celui-ci et le moyen-Ouest proprement dit.

. *Classe 12 : Aptitude nulle*

Cette catégorie, citée pour mémoire, comprend les larges cuvettes volcano-tectoniques (Ambohibary-Sambaina, Faratsiho, Vinaninony) ou de barrage volcanique (entre Antsirabe et Bétafo, Ifanja).

Elles représentent sur la zone cartographiée environ 8500 hectares. Il n'est évidemment pas question d'envisager le blé de saison dans ces plaines rizicoles.

. *Classe 13 : Aptitude nulle*

Introduite seulement pour être complète, cette classe comprend les massifs résiduels rocheux et pentus : essentiellement le massif granitique des Vavavato et celui situé au Sud de Bétafo.

3. INFLUENCE DE L'OCCUPATION ACTUELLE DES TERRES

L'introduction d'une culture nouvelle comme le blé pluvial dans les terroirs sera d'autant plus difficile que le sol sera déjà utilisé pour d'autres cultures (vivrières ou arbustives). Or il se trouve, et c'est normal, que les meilleures terres sont déjà cultivées pratiquement à 100 % : régions de Bétafo, Tritriva, Antsirabe, Ambohimadinika, Itasy.

Cependant des terres disponibles existent encore en quantité appréciable sur les plateaux ondulés à sols bruns du moyen-Ankaratra (classe 5), sur les planèzes à sols "rouges" du bas Ankaratra (classe 6) et sur les sols rouges et jaunes des sédiments des bassins volcano-lacustres (classe 7).

Les régions à sols ferrallitiques bruns humifères, entre 1800 et 2000/2100 mètres d'altitude sont habitées et cultivées très irrégulièrement. C'est le domaine quasi-exclusif de la pomme de terre et de l'élevage (bovins et porcs). Il y a encore beaucoup de surfaces non cultivées, des jachères, des taillis arbustifs. Sur planèzes périphériques du bas comme du moyen Ankaratra, les paysans préfèrent cultiver les flancs des vallées, à sols tronqués jusqu'à la zone d'altération, donc vraisemblablement

REGIONS	CLASSES D'APTITUDES		CLIMAT	QUALITE DES SOLS	RELIEF D'ENSEMBLE	SUPERFICIE TOTALE Ha	ESTIMATION DE LA "SURFACE UTILE"		ESTIMATION DE LA "SURFACE LIBRE" PAR RAPPORT A LA "SURFACE UTILE"	
							%	Ha	%	Ha
TRITRIVA	1	TRES BONNE	TRES BON	++++	++	1350	75	1000	0	0
BETAFO	2	BONNE	ASSEZ CHAUD	++++	++	4500	50	2150	0	0
Ouest ANTIRABE	3	BONNE	TRES BON	++++	++	18000	75	13500	0	0
A ^{HI} MADINIKA	4	MOYENNE	TRES BON	++++	+++	8500	25	2000	0	0
Moyen ANKARATRA	5	MOYENNE	TRES BON	+++	++	78000	60	47000	50	23500
Bas ANKARATRA	6	MOYENNE A MEDIOCRE	MOYEN A BON	++	+	140000	75	105000	50	52500
BASSINS VOLCANO-LACUSTRES	7	MOYENNE A MEDIOCRE	BON	++	0	52000	60	32000	50	16000
ITASY	8	MEDIOCRE	CHAUD	++++	++	30000	20	6000	0	0
Haut ANKARATRA	9	MAUVAISE	TROP FROID	+	++++	50000	10	5000	100	5000
SOCLE PENTES FAIBLES	10	MAUVAISE	BON A L'EST CHAUD A L'OUEST	+	++		60		60	
SOCLE PENTES FORTES	11	TRES MAUVAISE	BON A L'EST CHAUD A L'OUEST	+	++++		30		60	
CUVETTES HYDROMORPHES	12	NULLE	BON	0	0	9100	0	0	0	0
RELIEFS ROCHEUX	13	NULLE	BON	0	++++	63400	0	0	0	0

Qualité des sols

0 très mauvaise
+ mauvaise
++ médiocre
+++ moyenne
++++ bonne
+++++ très bonne

Relief d'ensemble

0 reliefs plats (pente 2 %)
+ " peu accidentés (jusqu'à 10 %)
++ " assez accidentés (" 20 %)
+++ " accidentés (" 40 %)
++++ " très accidentés (" 60 %)

Tab. 10 : APTITUDES REGIONALES A L'INTRODUCTION DU BLE PLUVIAL DANS LA REGION
ANKARATRA-VAKINANKARATRA-ITASY

TABLEAU RECAPITULATIF

plus riches, mais occasionnant une érosion importante ; ils délaissent les sommets des plateaux proprement dits qui sont très souvent déserts. Sur ces plateaux la culture est très extensive ; la terre n'est d'ailleurs pas appropriée, elle est à celui qui la cultive.

Une estimation grossière nous amène à penser qu'environ 50 % de la "surface utile" des classes d'aptitude 5, 6 et 7 est libre pour l'introduction de la culture du blé, ce qui donnerait :

- . classe 5 (sols ferrallitiques bruns humifères) : 23.500 hectares
- . classe 6 (sols ferrallitiques rouges typiques) : 52.500 hectares
- . classe 7 (sols ferrallitiques rouges et ocre-jaune typiques):
16.000 hectares.

Ces approximations, bien que très empiriques, nous donnent cependant des ordres de grandeur. La zone la plus intéressante pour développer en grand la culture du blé est la région périphérique de moyenne altitude (1800-2000 mètres), d'aptitude moyenne. En second lieu on pourra envisager les planèzes et lanières du bas-Ankaratra (1600-1800 mètres), d'aptitude moyenne à médiocre ; bien que moins favorable que la précédente, cette zone est susceptible de donner de bons résultats tout comme les sols des alluvions volcano-lacustres.

Dans tous les cas les apports d'engrais devront être très importants, en particulier les fumures de fond. Les amendements calciques seront nécessaires.

Au total, compte tenu des diverses contraintes d'ordre climatique, pédologique, topographique et humain, il nous semble difficile de trouver, dans la région Ankaratra-Vakinankaratra-Itasy, plus de 90.000 hectares de terres où l'introduction de la culture du blé pluvial puisse être envisagée.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Cette étude nous a permis d'évaluer (en qualité et en superficie), et de hiérarchiser les différents types de milieu susceptibles d'être cultivés en blé pluvial dans le massif de l'Ankaratra et à sa périphérie (Itasy, Vakinankaratra, bassins volcano-lacustres, "plateau" de Soanindrariny). Nous nous sommes limités aux zones volcaniques car leurs sols ont une fertilité potentielle plus élevée que les sols sur roches cristallines dont on ne peut attendre que des rendements faibles.

A ce niveau de reconnaissance, nous avons utilisé des critères climatiques, pédologiques, topographiques et humains (occupation des terres).

Ce zonage ainsi réalisé nous a conduit à distinguer des régions inaptes, des régions à potentiel intéressant, et des zones d'intérêt moyen ou médiocre.

Nous avons ainsi reconnus deux zones peu favorables :

. *La région de l'Itasy* : par sa position occidentale (moyen-Ouest) excentrée par rapport à l'Ankaratra proprement dit, et son altitude assez basse (1200-1500 m), cette zone est trop chaude et l'arrêt des pluies est trop brutal ; il y a des risques élevés d'attaques parasitaires, et d'échaudage qui, ajoutés au raccourcissement du cycle, sont des facteurs dépréciant fortement la bonne qualité des sols. D'autre part la surface utile est faible (6000 ha) et enfin cette région est déjà cultivée trop intensivement pour qu'on puisse y considérer avec optimisme l'avenir du blé.

. *Le "Haut Ankaratra"* : Les altitudes élevées (2100-2600 mètres) y sont responsables de basses températures (souvent négatives) au mois de mai, pendant la maturation, le stade du remplissage des grains étant le plus critique. A cette composante très défavorable s'ajoutent des reliefs accidentés et des sols peu intéressants, à engorgement superficiel dans l'horizon organique spongieux.

Ces deux régions seront donc à écarter pour le blé, du moins dans un premier temps, au profit des zones où les conditions sont à priori bien meilleures. En dehors de l'Itasy et du Haut Ankaratra, le climat convient en effet parfaitement. Ce sont alors les critères : fertilité potentielle des sols, topographie et occupation des terres qui nous ont guidé :

. Tout d'abord, on constate que les sols les meilleurs (sur projections très récentes) sont déjà fortement occupés, c'est le cas de la région du Vakinankaratra (toute la partie située à l'Ouest d'Antsirabe) qui ne peut donc pas constituer une grande zone à blé, en tout cas négligeable pour

l'alimentation de la nouvelle minoterie d'Antsirabe (capacité 50.000 tonnes).

. La région en définitive la plus prometteuse est sans aucun doute la zone dont l'altitude est comprise entre 1800 et 2000/2100 mètres : "*moyen-Ankaratra*" et lambeaux volcaniques du "*Plateau*" de Soanindrariny. Le climat est très favorable, les sols ferrallitiques humifères bruns ont une fertilité potentielle correcte ; de grandes étendues présentent un modelé peu accidenté, (à pentes inférieures à 15 %), et enfin l'occupation des terres y est très extensive et disséminée. Nous avons ainsi évalué à 23.000 hectares la superficie disponible où les facteurs physiques conviennent à la culture du blé. La meilleure façon d'utiliser ces étendues nous semble la grande culture mécanisée. La culture paysannale en petites parcelles peut en effet se heurter à la faible densité de population ; il faudrait alors inciter à la colonisation de ces zones d'altitude qui jusqu'à présent avaient attiré peu d'agriculteurs car il y fait trop froid pour la riziculture.

. Les autres grandes régions, également intéressantes, mais moins que la région précédente, sont d'une part les sols ferrallitiques "rouges" des vastes planèzes basaltiques périphériques situées entre 1500 et 1800 mètres d'altitude, et d'autre part les bassins volcano-lacustres d'Antsirabe, Bétampona et Antanifotsy-Ambohimandroso. Sur les planèzes basaltiques, environ 52.000 hectares conviennent et seraient disponibles pour la culture pluviale du blé. Dans les bassins volcano-lacustres, cette superficie est évaluée à 16.000 hectares.

Toutes ces régions à bon potentiel céréaliier sont incluses dans une superficie de 270.000 hectares ; celle-ci mérite d'être cartographiée (échelle du 1/100.000 par exemple) afin de localiser avec précision les blocs à retenir en fonction des différentes contraintes, physiques, et humaines, présentes.

BIBLIOGRAPHIE

- ALSAC (C.) - Etude géologique et prospection de la feuille Faratsiho. Trav. Bur. Géol. de Mad. n° 112, 1963.
- ALSAC (C.) - Quelques éléments nouveaux sur la bordure Nord du Bassin lacustre d'Antsirabe. Arch. Serv. Géol. A. 2065, 9 p. multigr. + croquis, 1966.
- BATTISTINI (R.) - Le massif de l'Itasy (Madagascar) Ann. de Géogr. n° 384, t. LXXI, 1962, pp. 167-178.
- BATTISTINI (R.) - Problèmes morphologiques du Vakinankaratra. Madagascar. Rev. de Géogr. N° 5 - 1964-b.
- BESAIRIE (H.) - Mise au point sur le volcanisme de l'Ankaratra (Madagascar) - Archives, Serv. Géol. 2169, 19 pages - 1971.
- BIED-CHARRETON (M.) - Le canton de Bétafo et le village d'Anjazofotsy - Bull. de Madagascar, 1968, n° 265 et 266-267, 110 pages.
- BIED-CHARRETON (M.) - Contrastes naturels et diversité agraire aux environs de Bétafo (Madagascar). "Etudes Rurales". Janv.-Sept. 1970 n° 37-38-39, pp. 378-396.
- BIROT (P.) - Contribution à l'étude des "Plateaux" du centre de Madagascar. "Madagascar", Rev. de Géogr. n° 3, Juillet-Déc. 1963, pp. 1 à 39.
- BONNEMAISON (J.) - Les peuplements des "Hauts" de l'Ankaratra. Madagascar - Rev. de Géographie n° 14, Janvier-Juin 1969 - pp. 33-61.
- BONNEMAISON (J.) - Des riziculteurs d'altitude. Tsarahonenana, village de l'Ankaratra (Madagascar). "Etudes Rurales". Ecole Pratique des Hautes Etudes. Janv.-Sept. 1970, n° 37-38-39, pp. 326-344.
- BOQUET () - Neuf ans de contribution à l'étude du blé à Madagascar. "Riz et riziculture", 1961, 7 (1), pp. 5-17.
- BOQUET () - Neuf ans de contribution à l'étude du blé dans le Vakinankaratra. Service de l'Agriculture - Direction Station Agricole d'Antsirabe.
- BOSSER (J.) - HERVIEU (J.) - Notice sur la carte d'utilisation des sols à 1/10.000 de la vallée de l'Onive. ORSTOM. Tananarive, 44 p. multigr. + 2 cartes - 1958.
- BOURGEAT (F.) - Les sols des régions d'Ankazobe et Arivonimamo. ORSTOM. Tananarive, 28 p., multigr. - 1966.
- BOURGEAT (F.) - Les sols aux environs de certains villages des Hauts-Plateaux - ORSTOM. Tananarive - 39 p. multigr. Tableaux d'analyses. 1966.
- BOURGEAT (F.) - Notice de la carte pédologique à 1/100.000 de Tananarive. ORSTOM Tananarive, 1968, 110 p.
- BOURGEAT (F.) - Sols sur socle ancien à Madagascar. Mém. ORSTOM, n° 57 - 1972.
- BOURGEAT (F.) - AUBERT (G.) - Les sols ferrallitiques à Madagascar. ORSTOM - Tananarive, 31 p. multigr. - 1971.

- BOURGEAT (F.) - PETIT (M.) - Contribution à l'étude des surfaces d'aplanissement sur les Hautes terres Malgaches. "Annales de Géographie", 1969, pp. 157-188.
- BOURGEAT (F.) - PETIT (M.) - Carte géomorphologique à 1/500.000 des Hautes Terres Centrales de Madagascar. ORSTOM - Tananarive 1967.
- BOURGEAT (F.) - VICARIOT (F.) - ZEBROWSKI (C.) - Les sols et le modelé dans l'Ankaratra. Aptitudes culturelles. Colloque régions Volcaniques Tropicales. A.G.M. Tananarive, 10 p., Juin 1973.
- BURESI (J.M.) - Inventaire agro-économique du Vakinankaratra. Doc. IRAM 1968.
- BUSSIERE (P.) - Le massif de l'Itasy. Rapp. Ann. Serv. Géol. Mad., pp. 61-62, 1960.
- CAKETT (K.E.) - WALL (P.C.) - The effects of altitude and season length on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) in Rhodesia. Rhodesia J. agric. Res. 9 (1971), pp. 107-120.
- CELTON (J.) - La recherche agronomique sur la culture du blé à Madagascar. Rapport de mission 28 Mars au 13 Avril 1979. IRAT - Mai 1979, 73 pages + annexes.
- CELTON (J.) - MARQUETTE (J.) - VELY (J.) - Expérimentation menée sur le blé en 1971. IRAM-IRAT, 1972 (doc. n° 314), 29 pages.
- DECHANET (R.) - Le blé dans la région d'Antsirabe-Betafo. Etat des recherches. Variétés préconisées, règle d'action culturale. IRAM-IRAT, 1968.
- DELUBAC (G.) - RAKOTOARISON (W.) - RAKOTONANAHARY - Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100.000 : Miarinarivo et Arivonimamo. Trav. Bur. Géol. de Mad. n° 120, 1964.
- DE HAUT DE SIGY (G.) - Compte rendu d'essais concernant la diversification des cultures de collines dans la Vakinankaratra. Doc. IRAI, n° 147, 1967 (b)
- DONQUE (G.) - Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar. Thèse doctorat es-lettres. Tananarive. 477 pages - 1975.
- DUBOIN (G.) - Influence du climat sur le développement du blé tendre d'hiver. ENSA-Montpellier. ITCF - 1976, 45 pages + annexes.
- DUFURNET (R.) - Régimes thermiques et pluviométriques des différents domaines climatiques de Madagascar. Madagascar. Rev. de Géographie n° 20, Janv.-Juin 1972, pp. 25-118.

- EDWARDS (I.B.) - Variations in the tolerance of some Rhodesian wheat varieties to high soil acidity.
Rhodesia Agri. J. 1969, 66 (5), pp. 120-122.
- FOY (C.D.) - ARMIGEY (W.H.) - BRIGGLE (L.W.) - REID (D.A.) - Differential aluminium tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. Agron. J. 57, 1965 : 413-417.
- GUIGUES (J.) - Etude géologique des feuilles Antsirabe-Ambatolampy.
Trav. Bur. Geol. de Madagascar n° 28, 1952.
- HERVIEU (J.) - Observations pédologiques dans la plaine d'Ambohimandroso.
"Naturaliste Malgache", tome IX, pp 1-17 - 1957
- HOTTIN (G.) - Etude géologique de la feuille Ambatolampy P 48.
Trav. Bur. Géol. de Mad., n° 121, 1965.
- HUTCHEON (W.L.) - RENNIE (D.A.) - The relationship of soil moisture stress and nutrient availability to the growth characteristics and quality of wheat. Trans. 7th. int. Congr. Soil sci. 3 : 488.
- IRAM - IRAT - Rapports annuels de 1963 à 1973.
- JOO' (J.) - RAKOTONDRA SOA - Etude géologique et prospection des feuilles au 1/100.000 : Ambohimandra-Fenoarivo-Soavinandriana (M. 45-46-47). Trav. Bur. Géol. de Mad. n° 134, 1971.
- LACROIX (A.) - Le massif de l'Ankaratra - C.R. Ac. Sc. 1912.
- LACROIX (A.) - Sur la constitution minéralogique et chimique des volcans du centre de l'Ankaratra. C.R. Ac. Sc. 1913.
- LAGEAT (Y.) - PEYROT (B.) - La plaine de Sambaina-Ambohibary et ses bordures : contribution à l'étude de la tectonique plioquaternaire des Hautes terres centrales de Madagascar.
Madagascar. Rev. de Géogr. n° 25 - Juillet-Décembre 1974, pp. 157-179.
- LENOBLE (A.) - Sur la chronologie des éruptions volcaniques du massif de l'Ankaratra (centre de Madagascar).
C.R. Acad. Sc., 206, 1938, pp. 613-615.
- LENOBLE (A.) - Le massif volcanique de l'Itasy. Mem. Acad. Malg., 32, 1940, pp. 43-77.
- LENOBLE (A.) - Les dépôts lacustres plio-pleistocènes de l'Ankaratra (Madagascar). Ann. Géol. du service des Mines, fasc. 18, 1949.
- LIVINGSTONE (J.E.) - SWINBANK (J.C.) - Some factors influencing the injury to wheat heads by low temperatures.
Agron. J. 42 : 153-157 - 1950.

- METEOROLOGIE NATIONALE MALGACHE - Températures de l'air sous abri à Madagascar, aux Comores et à la Réunion.
Pub. du Serv. Météo. Tananarive, n° 25 - 1956 ; données établies sur 10 années antérieures à 1950.
- METEOROLOGIE NATIONALE MALGACHE - Notice sur le climat de Madagascar - 1968, 60 pages.
- MESDAG (J.) - SLOOTMAKER (L.A.J.) - Classifying wheat varieties for tolerance to high soil acidity. *Euphytica* 18 (1969) : 36-42.
- MOTTET (G.) - Note sur quelques observations dans les terrains volcano-lacustres de la région d'Antsirabe. Compte rendu de la semaine géologique 1972.
- MOTTET (G.) - ZEBROWSKI (C.) - Sur l'extension d'une phase récente de projections acides dans la partie méridionale de l'Ankaratra. Communication à la Semaine Géologique de Madagascar, 7 p. multigr. 1974.
- MOTTET (G.) - Contribution à l'étude géomorphologique des Hautes Terres volcaniques du centre de Madagascar (Ankaratra, Itasy). Thèse d'Etat. Laboratoire de l'Université de Géographie de Tananarive. 1974.
- MOTTET (G.) - Notes sur quelques observations dans les terrains volcano-lacustres de la région d'Antsirabe. 5 pages, multigr. Semaine Géologique Tananarive. 1972.
- MOUNTER (B.E.) - Wheat in Northern Rhodesia. *The Rhodesia Agr. J.* Vol. 58, n° 1 - 1961, pp. 24-29.
- NOIZET (G.) - RANTOANINA (M.) - Contribution à l'étude géologique de la feuille d'Antsirabe.
Rapport annuel du Service Géologique Madagascar. 1963. pp. 191-200.
- QUANTIN (P.) - Les andosols, Revue bibliographique des connaissances actuelles. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, Vol. X, n° 3, 1972 : 273-301.
- QUANTIN (P.) - Hypothèses sur la génèse des andosols en milieu tropical : évolution de la "pédogenèse initiale" en milieu bien drainé sur roches volcaniques.
Cah. ORSTOM, Sér. Pédologie, Vol. XII, n° 1, 1974, pp. 3-12.
- RAUNET (M.) - Les bas-fonds et plaines alluviales des Hautes terres de Madagascar. Reconnaissance morpho-pédologique et hydrologique. Aptitudes à la culture du blé de contre-saison.
IRAT, 1980, 162 pages.
- RIQUIER (J.) - Notice sur la carte d'utilisation des sols à 1/20.000, d'Ambohimandroso - Mémoires IRSM, Série D, Tome VII, pp. 403-416 - 1 carte. 1956.

- ROCHE (P.) - Notice sur la carte d'utilisation des sols de la Station de Nanokely. Stat. Agron. Lac Alaotra. Rapp. Ann. 1955 (b).
- ROCHE (P.) - Notice de la carte d'utilisation des sols de Faratsiho (1/4 SE région d'Ambatondradama). Bureau d'Etudes conservation des sols. Recherche Agronomique. 1957.
- ROCHE (P.) - RAMALANJAONA (D.) - Rapport de prospection pédologique sur la ferme d'Etat pommier. Betampona-Soanindrariny. Préfecture d'Antsirabe. IRAM. Division d'Agrologie. 1967.
- SEGALEN (P.) - Les sols dérivés de roches volcaniques basiques à Madagascar. Mémoire I.R.S.M., D, VIII, 1957, 181 pages.
- SIEFFERMANN (G.) - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse Univ. Strasbourg. Mem. ORSTOM, n° 66, 1973, 183 pages.
- VELLY (J.) - CELTON (J.) - MARQUETTE (J.) - Expérimentation menée sur le blé en 1972 - IRAM-IRAT, 1973 (Doc. n° 358), 37 pages.
- VELLY (J.) - CELTON (J.) - OLIVER (R.) - DAMOUR (M.) - NGO CHANG BANG
Etude de la carence en bore sur blé.
I. Essai en serre, d'interaction bore-carbonate de calcium sur 3 sols hydromorphes des Hautes terres Malgaches.
IRAM, 1973 (doc. n° 321), 24 pages.
- VINCENT (A.) - GOUJON (C.) - Résistance au froid chez le blé.
Annales de l'amélioration des plantes 14 (1), 39-56, 1964.
- WOILLET (J.C.) - Le plan de développement agricole de la Préfecture du Vakinankaratra.
Madagascar. Rev. de Géographie, n° 3, juillet-Décembre 1963, pp. 113-119.
- WOILLET (J.C.) - Essai de micro-régionalisation dans la préfecture du Vakinankaratra.
Madagascar, Rev. de Géographie, n° 3, Juillet-Décembre 1963, pp. 45 - 112.
- ZEBROWSKI (C.) - Propriétés des andosols de l'Itasy et de l'Ankaratra (Madagascar). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., Vol IX, n° 1, 1971, pp. 83-108.
- ZEBROWSKI (C.) - Quelques andosols de Madagascar et de la Réunion ; problème de la podzolisation sur un andosol.
Comm. journée des Pédologues de l'ORSTOM, Sept. 1972.
ORSTOM, Comité technique de Pédologie. Bull. liaison thème andosols, n° 2 : 53-77.
- ZEBROWSKI (C.) - RATSIMBAZAFY (C.) - Carte pédologique d'Antsirabe (1/100.000) et notice explicative. Madagascar DRST. 1974.

- ZEBROWSKI (C.) - Contribution pédologique à la chronologie des éruptions volcaniques dans la région de Bétafo-Antsirabe.
Note présentée à la semaine géologique de Madagascar, 1974
10 pages. mult. + 1 carte.
- ZEBROWSKI (C.) - Propriétés et pédogenèse de certains sols sur roches volcaniques de la région d'Antsirabe (Madagascar).
Cah. ORSTOM, sér. pédologie, Vol XIII, n° 1 - 1975
pp. 49-59.

ANNEXES

DESCRIPTIONS ET ANALYSES DE SOLS

Sol "rouge" sur basalte ancien
Sol ferrallitique fortement désaturé
gibbsitique modal

Situation : Près d'Ambohimandroso, 4 km à l'Ouest de la ville, sur le point d'essai blé.

Altitude : 1600 mètres

Modelé : Sommet de large interfluve, à pente faible (1%). Lambeau de planèze basaltique (partie terminale)

Matériau : Basalte de coulée mio-pliocène, à structure massive, épais de 4 à 5 mètres, recouvrant le socle granito-gneissique (qui affleure sur les bas de versants de l'interfluve)

Régime hydrique : Très bonne infiltration, excellent drainage.

Description :

- 0 - 20 cm : Brun-rougeâtre à brun-rougeâtre foncé (2,5 YR 3/4 à 4/4 à l'état sec). Homogène. Structure polyédrique anguleuse fine très développée. Nombreuses racines fines. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Friable. Limite distincte et régulière.
- 20 - 100 cm : Brun-rougeâtre à rouge (2,5 YR 4/4 à 4/6 à l'état sec). Sans taches. Homogène. Structure polyédrique anguleuse fine et moyenne très développée. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Friable. Limite graduelle et ondulée.
- 100 - 160 cm : Rouge (2,5 YR 4/6 à l'état sec). Sans taches. Homogène. Structure polyédrique anguleuse moyenne très développée. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Friable. Limite nette et ondulée.
- 160 - 165 cm : "Stone-line" discontinue composée de fragments de basalte altéré grisâtre.
- 165 à plus de 200 cm : Début de la zone d'altération du basalte. Noyaux de basalte altéré gris (5 YR 5/2 à 5/3) et d'argile rouge (2,5 YR 4/6).

N° ECHANTILLON			AHM.1	AHM.2	AHM.3	AHM.4	
PROFONDEUR			0-20	20-100	100-160	165-200	
HUMIDITE	à pF 4,2	%	25,76	22,20	27,04	31,52	
	à pF 3,0	%	46,17	37,09	35,22	53,61	
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	62,4	71,9	82,6	55,0	
	Limon fin (2-20μ)	%	19,0	14,1	5,4	16,9	
	Limon grossier (20-50μ)	%	9,8	4,5	4,5	18,1	
	Sable fin (50-200μ)	%	4,3	4,1	4,3	8,5	
	Sable grossier (200-2000μ)	%	4,6	5,3	3,2	1,4	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	5,93	3,72	1,43	0,29	
	Carbone	%	3,44	2,16	0,83	0,17	
	Azote total	%	3,26	1,81	0,80	0,16	
	Rapport C/N		11	12	10	11	
PHOSPHORE	Total	ppm	1328	1280	1735	2438	
	Assimilable (Olsen)	ppm	19	13	41	117	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,17	0,04	0,08	0,08	
	Mg	mé%	0,14	0,02	0,01	0,03	
	K	mé%	0,15	0,02	0,01	0,01	
	Na	mé%	0,02	0,01	0,01	0,01	
	Somme des bases	mé%	0,48	0,09	0,11	0,13	
	Capacité d'échange	mé%	20,93	14,70	7,05	11,32	
	Saturation	%	2	1	2	1	
pH	pH eau		5,05	5,20	5,40	5,10	

Sol "rouge" sur basalte ancien
Sol ferrallitique fortement désaturé
gibbsitique modal

Situation : Environ 3 km au Sud d'Imerintsiatosika (en direction de Behenjy).
Chantier de construction du C.U.R. (Université)

Altitude : 1400 mètres

Modellé : Plateau basaltique à pente très faible (moins de 1%) ;
extrémité septentrionale de planèze

Matériau : Basalte de coulée (mio-pliocène), à structure massive

Régime hydrique : Très bonne infiltration, excellent drainage.

Description :

0 - 20 cm : Rouge foncé (2,5 YR 3/6 à l'état sec), sans taches.
Structure polyédrique fine émousée très fragile,
se réduisant facilement en poussière. Texture
argileuse, sans éléments grossiers. Limite nette à
distincte, régulière.

20 - 200 cm : Rouge foncé (2,5 YR 3/6 à l'état sec), sans taches,
très homogène. Structure polyédrique fine, très
fragile, se réduisant facilement en poussière.
Pas de fentes. Très friable. Texture argileuse.
Sans éléments grossiers. Limite très diffuse, ondulée.

200 - 400 cm : Rouge très légèrement plus clair (2,5 YR 4/6 à
l'état sec), sans taches, homogène. Structure polyédrique
anguleuse fine et moyenne. Pas de fentes. Moins
friable que l'horizon supérieur. Texture argileuse,
sans éléments grossiers. Limite graduelle, ondulée.

Plus de 400 cm : début de la zone d'altération du basalte.
Noyaux farineux de basalte pourri et argile rouge.

N° ECHANTILLON			IK.11	IK.12	IK.13	IK.14	
PROFONDEUR			cm	0-20	20-200	200-400	400-500
HUMIDITE	à pF 4,2	%	16,80	18,41	19,64	20,44	
	à pF 3,0	%	33,86	29,35	30,06	31,20	
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	47,1	49,9	63,6	44,3	
	Limon fin (2-20μ)	%	24,6	16,7	10,9	16,1	
	Limon grossier (20-50μ)	%	7,2	8,5	6,4	12,3	
	Sable fin (50-200μ)	%	8,3	9,0	9,1	12,6	
	Sable grossier (200-2000μ)	%	12,8	16,0	10,1	14,7	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	3,43	1,74	0,74	0,36	
	Carbone	%	1,99	1,01	0,43	0,21	
	Azote total	%	1,62	0,76	0,43	0,28	
	Rapport C/N		12	13	10	8	
PHOSPHORE	Total	ppm	425	953	1004	1664	
	Assimilable (Olsen)	ppm	11	19	35	40	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,05	0,03	0,02	0,04	
	Mg	mé%	0,02	0,01	0,01	0,02	
	K	mé%	0,02	0,01	0,01	0,01	
	Na	mé%	0,03	0,01	0,01	0,01	
	Somme des bases	mé%	0,12	0,06	0,05	0,08	
	Capacité d'échange	mé%	6,08	3,63	2,09	3,37	
	Saturation	%	2	2	2	2	
pH	pH eau		4,85	4,90	4,95	5,05	

PROFIL AY. 1

Sol "rouge" tronqué de versant sur basalte ancien

Sol ferrallitique fortement désaturé rajeuni

Situation : 6 km à l'Ouest d'Ambatolampy sur la piste de la station forestière

Altitude : 1700 mètres

Modelé : Versant à pente 15 %

Matériau : Basalte de coulée (mio-pliocène), à structure massive

Régime hydrique : bon drainage

Description :

0 - 30 cm : Brun-rougeâtre foncé (10 YR 3/3 à l'état sec), Sans taches. Très nombreuses racines. Structure polyédrique anguleuse fine et moyenne bien développée. Friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite nette et régulière.

30 - 60 cm Brun violacé sombre. Quelques lits discontinus de résidus d'altération gibbsitique (couleur crème), indiquant un remaniement de l'horizon. Nombreuses racines. Structure polyédrique anguleuse moyenne bien développée. Texture argileuse. Friable. Limite nette.

60 à plus de 250 cm : Zone d'altération. Altérite violacée assez claire et homogène. Structure polyédrique grossière anguleuse. Sous-structure polyédrique fine très développée. Texture argileuse, sans éléments grossiers.

N° ECHANTILLON			AY.11	AY.12	AY.13		
PROFONDEUR			0-30	30-60	60-200		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	22,16	25,00	27,82		
	à pF 3,0	%	33,71	38,98	44,40		
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	64,7	60,9	50,9		
	Limon fin (2-20μ)	%	13,9	16,0	23,8		
	Limon grossier (20-50μ)	%	13,1	14,0	16,0		
	Sable fin (50-200μ)	%	6,2	5,9	7,9		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	2,1	3,2	1,4		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	2,93	2,24	0,52		
	Carbone	%	1,70	1,30	0,30		
	Azote total	%	1,60	1,04	0,52		
	Rapport C/N		11	13	6		
PHOSPHORE	Total	ppm	1042	1161	1315		
	Assimilable (Olsen)	ppm	5	5	16		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,01	0,08	0,01		
	Mg	mé%	0,08	0,05	0,07		
	K	mé%	0,07	0,03	0,02		
	Na	mé%	0,01	0,01	0,01		
	Somme des bases	mé%	0,17	0,17	0,11		
	Capacité d'échange	mé%	11,23	10,18	10,80		
	Saturation	%	2	2	1		
pH	pH eau		4,80	4,80	4,75		

PROFIL AD. 1

Sol "ocre-rouge" sur sédiments volcano-lacustres

Sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique humifère

Situation : Andranomalenatra ; chantier de construction de la minoterie.

Altitude : 1615 mètres

Modèle : Topographie horizontale

Matériau : Alluvions volcano-lacustres. Alternance d'argiles kaoliniques de tufs, de cinérites, de sables.

Régime hydrique : Bonne infiltration, bon drainage

Description :

0 - 30 cm : Brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/4 à l'état sec). Sans taches. Nombreuses racines. Structure polyédrique émoussée moyenne à fine. Friable. Texture argileuse. Sans éléments grossiers. Limite nette et régulière.

30 - 70 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6 à l'état sec). Sans taches. Racines fines. Structure polyédrique anguleuse moyenne à fine. Friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite graduelle, ondulée.

70 - 120 cm : Rouge (2,5 YR 4/8 à l'état sec). Sans taches. Quelques racines fines. Structure polyédrique anguleuse, grossière. Moins friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers.

A partir de 120 cm : début de la zone d'altération. Couleur plus claire. On reconnaît la litation du matériau.

N° ECHANTILLON		AD.11	AD.12	AD.13		
PROFONDEUR cm		0-30	30-70	70-120		
HUMIDITE	à pF 4,2 %	29,97	24,28	27,61		
	à pF 3,0 %	41,17	37,05	39,38		
	à pF 2,5 %					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ) %	64,2	75,9	81,7		
	Limon fin (2-20μ) %	20,7	9,4	3,9		
	Limon grossier (20-50μ) %	6,3	5,3	4,4		
	Sable fin (50-200μ) %	4,1	5,1	5,7		
	Sable grossier (200-2000μ) %	4,6	4,3	4,2		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique %	8,93	3,45	1,47		
	Carbone %	5,18	2,00	0,85		
	Azote total ‰	5,02	1,73	0,99		
	Rapport C/N	10	12	9		
PHOSPHORE	Total ppm	831	525	639		
	Assimilable (Olsen) ppm	38	13	31		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca mé%	0,13	0,25	0,33		
	Mg mé%	0,15	0,14	0,31		
	K mé%	0,20	0,07	0,08		
	Na mé%	0,01	0,01	0,01		
	Somme des bases mé%	0,49	0,47	0,73		
	Capacité d'échange mé%	26,05	12,49	6,67		
	Saturation %	2	4	11		
pH	pH eau	4,30	4,55	4,55		

PROFIL MN. 1

Sol "brun" sur basalte ancien

Sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique humifère

Situation : 1 km à l'WNW de Manalalondo en direction de Faratsiho

Altitude : 1800 mètres

Modelé : Pente faible (3%), sommet d'interfluve (planèze) basaltique émousé, légèrement vallonné.

Matériau : Basalte de coulée (mio-pliocène), à structure massive.

Régime hydrique : Drainage correct

Description :

0 - 20 cm : Brun foncé (7,5 YR 3/2 à l'état sec), sans taches. Enracinement graminéen très dense. Structure polyédrique fine à grumeleuse. Friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite nette à distincte.

20 - 70 cm : Brun (7,5 YR 5/4 à l'état sec). Sans taches. Nombreuses racines fines. Structure polyédrique anguleuse fine très développée. Friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite distincte à nette.

70 - 130 cm Brun-rougeâtre (5 YR 4/4 à l'état sec), sans taches. Quelques racines fines. Structure polyédrique anguleuse fine à moyenne très développée. Friable. Texture argileuse. Sans éléments grossiers.

A partir de 130 cm : Altérite brun-rouge-violacé. Basalte altéré argilo-limoneux.

N° ECHANTILLON			MN.11	MN.12	MN.13		
PROFONDEUR			0-20	20-70	70-130		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	26,38	26,29	26,45		
	à pF 3,0	%	39,03	38,40	38,49		
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	71,0	68,7	65,5		
	Limon fin (2-20μ)	%	14,2	15,2	18,1		
	Limon grossier (20-50μ)	%	11,6	11,9	13,3		
	Sable fin (50-200μ)	%	2,5	3,2	2,1		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	0,8	1,0	1,1		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	5,33	2,59	0,62		
	Carbone	%	3,09	1,50	0,36		
	Azote total	‰	2,52	1,26	0,40		
	Rapport C/N		12	12	9		
PHOSPHORE	Total	ppm	5483	5228	5024		
	Assimilable (Olsen)	ppm	163	151	375		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,15	0,01	0,13		
	Mg	mé%	0,75	0,13	0,50		
	K	mé%	0,12	0,03	0,02		
	Na	mé%	0,01	0,01	0,01		
	Somme des bases	mé%	1,03	0,18	0,66		
	Capacité d'échange	mé%	26,47	24,16	23,18		
	Saturation	%	4	1	3		
pH	pH eau		5,00	4,70	4,85		

PROFIL FT. 1

Sol "brun" sur basalte ancien

Sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique humifère

Situation : 5 km au Sud de Faratsiho, 900 mètres après l'embranchement, en direction de Vinaninony.

Altitude : 1900 mètres

Modèle : Mollement ondulé. Pente inférieure à 2%

Matériau : Coulée trachytique du volcanisme mio-pliocène

Régime hydrique : Drainage moyen

Description :

- 0 - 20 cm Brun foncé (7,5 YR 3/2 à l'état sec), sans taches. Très nombreuses racines. Structure grumeleuse à polyédrique fine. Texture argileuse. Sans éléments grossiers. Friable. Poreux. Limite nette.
- 20 - 70 cm Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6, sec). Sans taches. Racines fines. Structure polyédrique grossière. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite distincte.
- 70 - 120 cm Brun vif (7,5 YR 5/8 à l'état sec). Quelques débris blancs et tendres de trachyte altéré. Structure polyédrique grossière émoussée. Texture argileuse. Friable. Limite nette, très irrégulière.
- 120 à plus de 200 cm : Trachyte altéré, gris-beige à verdâtre avec des taches mauves peu contrastées. Texture limono-argileuse.

N° ECHANTILLON			FT.11	FT.12	FT.13	FT.14	
PROFONDEUR			0-20	20-70	70-120	120-200	
HUMIDITE	à pF 4,2	%	27,12	24,50	23,81	13,49	
	à pF 3,0	%	37,92	32,42	33,21		
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	78,1	77,0	60,8	13,8	
	Limon fin (2-20μ)	%	6,6	8,5	19,4	36,9	
	Limon grossier (20-50μ)	%	7,0	5,5	10,3	17,3	
	Sable fin (50-200μ)	%	5,0	5,4	5,0	15,2	
	Sable grossier (200-2000μ)	%	3,3	3,5	4,2	16,8	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	6,72	1,90	0,97	0,21	
	Carbone	%	3,90	1,10	0,56	0,12	
	Azote total	%	3,19	1,06	0,64	0,19	
	Rapport C/N		12	10	9	6	
PHOSPHORE	Total	ppm	831	423	356	548	
	Assimilable (Olsen)	ppm	28	12	9	46	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,20	0,06	0,07	0,09	
	Mg	mé%	0,08	0,02	0,08	0,16	
	K	mé%	0,11	0,04	0,06	0,58	
	Na	mé%	0,01	0,01	0,01	0,21	
	Somme des bases	mé%	0,40	0,13	0,22	1,04	
	Capacité d'échange	mé%	16,81	8,34	7,79	21,10	
	Saturation	%	2	2	3	5	
pH	pH eau		4,85	4,40	4,85	5,70	

Sol "brun" sur basalte ancien

Sol ferrallitique fortement désaturé gibbsitique humifère

Situation : "Plateau" d'Ambatondradama. 3 km au Sud du village d'Andriamanatrika

Altitude : 1950 mètres

Modellé : Très mollement ondulé. Pente inférieure à 2 %

Matériau : Coulées d'andésite d'Ambatondradama (volcanisme quaternaire ancien)

Régime hydrique : Drainage médiocre. Engorgement temporaire possible dans l'épais horizon organique supérieur.

Description :

0 - 30 cm : Brun très foncé (7,5 YR 3/2 à l'état sec), noirâtre à l'état humide. Sans taches. Matière organique abondante. Débris mal décomposés, associés avec des parties bien humifiées, nombreuses racines enchevêtrées. A l'état sec la matrice prend un aspect cendrex très friable. Texture argileuse. Limite nette et régulière.

30 - 70 cm : Brun à brun vif (7,5 YR 5/4 à 5/6, à l'état sec). Sans taches. Racines fines. Structure polyédrique anguleuse grossière. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite peu nette.

70 - 150 cm : Rouge-jaunâtre (5 YR 5/6 à l'état sec), sans taches. Aspect limoneux et poreux. Très friable. Consistance à tendance thixotropique ("test au couteau" positif). Absence de structure bien nette. Pas d'éléments grossiers. Transition distincte à nette.

Plus de 150 cm : Andésite altérée, gris-verdâtre. Texture argilo-limoneuse.

N° ECHANTILLON			NK.11	NK.12	NK.13	NK.14	
PROFONDEUR			0-30	30-70	70-150	150-180	
HUMIDITE	à pF 4,2	%	30,64	23,66	28,34	25,82	
	à pF 3,0	%	46,97	33,67	44,52	50,72	
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	59,8	55,7	60,7	33,0	
	Limon fin (2-20μ)	%	12,5	15,0	17,4	30,5	
	Limon grossier (20-50μ)	%	14,1	5,2	5,9	20,7	
	Sable fin (50-200μ)	%	5,5	7,5	6,8	9,6	
	Sable grossier (200-2000μ)	%	8,0	16,5	9,2	6,3	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	9,96	2,34	0,69	0,45	
	Carbone	%	5,78	1,36	0,40	0,26	
	Azote total	%	4,03	1,16	0,37	0,25	
	Rapport C/N		14	12	11	10	
PHOSPHORE	Total	ppm	2158	2208	4336	2545	
	Assimilable (Olsen)	ppm	178	104	388	451	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,01	0,05	0,09	0,04	
	Mg	mé%	0,03	0,03	0,03	0,06	
	K	mé%	0,05	0,01	0,01	0,01	
	Na	mé%	0,01	0,01	0,01	0,01	
	Somme des bases	mé%	0,10	0,10	0,14	0,12	
	Capacité d'échange	mé%	27,61	10,36	6,06	12,20	
	Saturation	%	1	1	2	1	
pH	pH eau		4,80	5,10	5,20	5,20	

PROFIL AR. 2

Sol "brun" sur basalte ancien

Sol ferrallitique rajeuni humifère

Situation : 25 km au SSE d'Arivoninamo, le long d'une piste menant aux crêtes de l'Ankaratra.

Altitude : 1850 mètres

Modelé : Versant (pente 30 %)

Matériau : Basalte de coulée mio-pliocène à structure massive. Le sol se développe sur des colluvions de pente

Régime hydrique : Ruissellement et drainage correct (pas d'engorgement)

Description :

0 - 25 cm : Brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/3 à l'état sec), sans taches. Nombreuses racines fines. Structure polyédrique fine très développée. Friable. Texture argileuse. Quelques cailloux de basalte. Limite nette.

25 - 100 cm : Brun-rougeâtre (5 YR 5/4 à l'état sec). Sans taches. Racines fines. Structure polyédrique moyenne à grossière anguleuse très développée. Texture argileuse. Quelques cailloux de basalte. Limite nette très irrégulière.

100 - 150 cm : Gris-brunâtre à gris rougeâtre (5 YR 4/2 à 5/2, sec). Début de l'horizon d'altération. Structure polyédrique fine anguleuse, très développée. Texture argileuse, sans éléments grossiers.

Plus de 150 cm : gris-clair. Basalte en cours d'altération.

N° ECHANTILLON			AR.21	AR.22	AR.23		
PROFONDEUR			0-25	25-100	100-150		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	23,93	25,06	26,80		
	à pF 3,0	%	38,34	35,90	38,99		
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	66,3	70,9	58,6		
	Limon fin (2-20μ)	%	15,8	13,5	18,7		
	Limon grossier (20-50μ)	%	10,8	12,0	14,2		
	Sable fin (50-200μ)	%	5,8	2,3	7,7		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	1,3	1,3	0,8		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	6,09	3,84	0,50		
	Carbone	%	3,53	2,23	0,29		
	Azote total	‰	3,48	1,68	0,46		
	Rapport C/N		10	13	6		
PHOSPHORE	Total	ppm	2805	2516	4026		
	Assimilable (Olsen)	ppm	58	17	96		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,84	0,25	0,14		
	Mg	mé%	1,31	1,05	1,17		
	K	mé%	0,12	0,05	0,03		
	Na	mé%	0,02	0,01	0,02		
	Somme des bases	mé%	2,29	1,36	1,36		
	Capacité d'échange	mé%	20,79	16,42	19,80		
	Saturation	%	11	8	7		
pH	pH eau		5,20	5,10	4,90		

PROFIL AS. 1

Sol "chocolat" sur basalte récent

Sol ferrallitique fortement désaturé humifère andique

Situation : 3 km WSW d'Antsirabe. 200 mètres au pied Nord du volcan Ivohitra.
A 300 mètres des essais blé FOFIFA, près d'un étang.

Altitude : 1500 mètres

Modellé : Pente faible (3 à 4 %)

Matériau : Coulée scoriacée de basanite, du volcanisme récent

Régime hydrique : Infiltration, excellent drainage

Description :

0 - 25 cm : Brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/3 à l'état sec), sans taches. Nombreuses racines fines. Structure polyédrique anguleuse fine à fragile. Poussiéreux à l'état sec. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite distincte.

25 - 60 cm : Brun-rougeâtre (2,5 YR 4/4 à l'état sec), sans taches. Racines fines nombreuses. Structure polyédrique anguleuse fine et moyenne, très développée. Bonne porosité. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite distincte à graduelle.

60 - 110 cm : Rouge sombre (2,5 YR 3/6, à l'état sec), sans taches. Quelques racines. Structure polyédrique anguleuse fine, nette. Très friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite irrégulière mais nette.

110 - 130 cm : Basalte scoriacé altéré noirâtre mélangé à de l'argile rouge

A partir de 130 cm : Basalte scoriacé non altéré.

N° ECHANTILLON			AS.11	AS.12	AS.13		
PROFONDEUR			0-25	25-60	60-110		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	22,01	21,24	23,80		
	à pF 3,0	%	37,71	32,55	32,93		
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	66,5	67,9	70,9		
	Limon fin (2-20μ)	%	17,0	10,5	8,6		
	Limon grossier (20-50μ)	%	9,6	13,3	8,6		
	Sable fin (50-200μ)	%	4,6	5,0	5,2		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	2,4	3,3	6,6		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	6,65	3,74	0,91		
	Carbone	%	3,86	2,17	0,53		
	Azote total	%	3,08	1,92	0,82		
	Rapport C/N		13	11	7		
PHOSPHORE	Total	ppm	1427	934	1472		
	Assimilable (Olsen)	ppm	44	19	84		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,70	0,37	0,30		
	Mg	mé%	0,58	0,25	0,18		
	K	mé%	0,18	0,10	0,05		
	Na	mé%	0,01	0,05	0,03		
	Somme des bases	mé%	1,47	0,77	0,56		
	Capacité d'échange	mé%	21,04	16,10	7,98		
	Saturation	%	7	5	7		
pH	pH eau		5,05	5,05	5,15		

PROFIL TF. 1

Sol "noir" sur volcanisme ancien

Andosol perhydraté mélanique

Situation : Proximité du Tsiarafajavona, en contrebas de la crête sommitale de l'Ankaratra

Altitude : 2500 mètres

Modellé : Pied de versant, pente de l'ordre de 20 %

Matériau : Coulée d'Ankaratrite (volcanisme quaternaire ancien)

Régime hydrique : Léger engorgement dans l'horizon organique supérieur

Description :

0 - 25 cm : Noir (7,5 YR 2/ sec). Humide, gras et tachant
Consistance poudreuse à l'état sec. Très nombreuses racines. Très friable et poreux. Toucher limoneux. Absence d'éléments grossiers. Limite nette.

25 - 60 cm : Brun foncé (7,5 YR 3/2, sec), sans taches. Nombreuses racines, toujours humide. Faible densité apparente, poreux. Structure massive. Toucher limoneux. Consistance thixotropique (test "au couteau" fortement positif). Absence d'éléments grossiers. Limite distincte

60 - 120 cm : Brun vif (7,5 YR 5/6 sec), sans taches. Toujours humide. Structure massive. Faible densité apparente. Poreux. Toucher limoneux. Consistance très nettement thixotropique. Absence d'éléments grossiers. Limite distincte.

120 - 160 cm : Jaune-brunâtre (10 YR 6/6, sec). Sans taches. Toujours humide. Faible densité apparente. Très poreux. Toucher limoneux. Structure massive. Consistance thixotropique. Absence d'éléments grossiers. Limite distincte à nette, irrégulière.

N° ECHANTILLON		TF.11	TF.12	TF.13		
PROFONDEUR		cm	0-25	25-60	60-120	
HUMIDITE	à pF 4,2	%		29,46	27,34	
	à pF 3,0	%		35,88	34,71	
	à pF 2,5	%				
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%		42,7	34,6	
	Limon fin (2-20μ)	%		32,2	26,8	
	Limon grossier (20-50μ)	%		13,5	13,0	
	Sable fin (50-200μ)	%		7,1	15,1	
	Sable grossier (200-2000μ)	%		4,5	10,6	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%		7,10	4,50	
	Carbone	%		4,12	2,61	
	Azote total	%		4,20	3,06	
	Rapport C/N			10	9	
PHOSPHORE	Total	ppm		3685	4581	
	Assimilable (Olsen)	ppm		152	481	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%		3,60	0,07	
	Mg	mé%		0,12	0,04	
	K	mé%		0,07	0,06	
	Na	mé%		0,02	0,02	
	Somme des bases	mé%		3,81	0,19	
	Capacité d'échange	mé%		43,80	34,93	
	Saturation	%		9	1	
pH	pH eau			5,55	5,25	

Sol "noir" sur volcanisme ancien

Andosol perhydraté mélanique

Situation : 10 km au SSE de Vinaninony, au piémont Nord du massif du Marotaolana. En bordure de la route Antsirabe-Vinaninony.

Altitude : 2200 mètres

Modèle : "Plaine" d'altitude ondulée, encadrée par de hauts massifs.
Pente de l'ordre de 3 %

Matériau : Coulée trachytique (volcanisme mio-pliocène)

Régime hydrique : Drainage médiocre. Engorgement temporaire probable dans l'horizon organique.

Description :

0 - 30 cm : Noir (5 YR 2/1, sec). Poussièreux à l'état sec. Spongieux, gras et tachant à l'état humide. Très nombreuses racines enchevêtrées. Très friable. Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite nette.

30 - 60 cm : Brun-rougeâtre foncé (5 YR 3/4, sec), sans taches. Nombreuses racines fines. Structure polyédrique développée (après deshydratation irréversible). Aspect thixotropique à l'état hydraté naturel (test "au couteau" positif). Texture argileuse, sans éléments grossiers. Limite très nette : discontinuité indiquant un changement de matériaux. Le matériau supérieur est probablement un recouvrement de cendres trachytiques par dessus des laves (ci-dessous).

60 - 100 cm : Brun vif (7,5 YR 5/8 à l'état sec). Sans taches. Toujours humide à l'état naturel. Consistance thixotropique. Toucher limoneux. En réalité texture argileuse. Absence d'éléments grossiers. Limite nette et distincte, irrégulière.

100 - 140 cm : Brun (7,5 YR 5/4, sec). Coulée trachytique altérée. Quelques grains de trachyte moins altérés, blancs. Consistance thixotropique. Toucher limoneux.

Plus de 140 cm : Trachyte inaltéré gris-clair, dur.

N° ECHANTILLON			VN.11	VN.12	VN.13	VN.14
PROFONDEUR			0-30	30-60	60-100	100-140
HUMIDITE	à pF 4,2	%	38,55	27,15	36,33	32,45
	à pF 3,0	%	52,54	37,13	46,34	46,98
	à pF 2,5	%				
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	56,0	61,7	45,8	52,3
	Limon fin (2-20μ)	%	21,0	15,6	23,4	22,3
	Limon grossier (20-50μ)	%	11,8	11,4	9,9	8,4
	Sable fin (50-200μ)	%	6,4	7,4	15,6	6,2
	Sable grossier (200-2000μ)	%	4,8	4,0	5,4	10,8
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	11,57	4,60	2,09	1,00
	Carbone	%	6,71	2,67	1,21	0,58
	Azote total	%	6,40	2,38	1,16	0,80
	Rapport C/N		11	11	10	7
PHOSPHORE	Total	ppm	2078	1146	3641	3213
	Assimilable (Olsen)	ppm	148	29	777	817
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,06	0,17	0,56	0,74
	Mg	mé%	0,09	0,08	0,13	0,11
	K	mé%	0,12	0,05	0,16	0,07
	Na	mé%	0,01	0,04	0,07	0,02
	Somme des bases	mé%	0,28	0,34	0,92	0,94
	Capacité d'échange	mé%	39,17	26,26	25,28	19,22
	Saturation	%	1	1	4	5
pH	pH eau		4,60	5,00	5,35	4,85

PROFIL AR. 1
Sol "noir" sur volcanisme ancien
Andosol perhydraté mélanique

Situation : Environ 9 km au Nord du Tsiarafajavona à proximité de la piste en provenance d'Arivonimamo.

Altitude : 2300 mètres

Modelé : Bas de versants. Pente de l'ordre de 20 %

Matériau : Coulée d'Ankaratrite (volcanisme quaternaire ancien)

Régime hydrique : Léger engorgement temporaire dans l'horizon organique supérieur

Description :

- 0 - 30 cm : Brun-grisâtre très foncé (10 YR 3/2) et tachant à l'état humide. Plus clair et poussiéreux à l'état sec. Nombreuses racines fines.
- 30 - 70 cm : Brun (7,5 YR 5/4). Sans taches. Toujours humide Structure massive. Consistance thixotropique (test "du couteau" positif). Toucher limoneux. Poreux. Absence d'éléments grossiers.
- 70 - 220 cm : Brun vif (7,5 YR 5/8). Sans taches. Homogène. Toujours humide à l'état naturel. Structure massive. Consistance thixotropique (test "du couteau" positif). Toucher limoneux. Poreux. Absence d'éléments grossiers.
- A partir de 220 cm : Altération de l'Ankaratrite. Couleur brun-rouge foncé. Nombreuses taches blanches farineuses (feldspaths altérés).

N° ECHANTILLON			AR.11	AR.12	AR.13	AR.14	
PROFONDEUR cm			0-30	30-70	70-220	220-250	
HUMIDITE	à pF 4,2	%	34,86	28,04	29,11	27,97	
	à pF 3,0	%	54,98	46,54	40,45	48,17	
	à pF 2,5	%					
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	58,6	54,1	29,1	37,6	
	Limon fin (2-20μ)	%	26,5	23,7	14,8	32,5	
	Limon grossier (20-50μ)	%	6,6	7,2	8,2	14,2	
	Sable fin (50-200μ)	%	4,9	8,0	17,3	10,1	
	Sable grossier (200-2000μ)	%	3,5	7,0	30,6	5,7	
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	14,64	6,59	1,81	0,36	
	Carbone	%	8,49	3,82	1,05	0,21	
	Azote total	%	6,40	3,84	0,98	0,31	
	Rapport C/N		13	10	11	7	
PHOSPHORE	Total	ppm	2600	2118	2873	3585	
	Assimilable (Olsen)	ppm	167	36	165	190	
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	0,03	0,04	0,10	0,08	
	Mg	mé%	0,09	0,04	0,09	0,09	
	K	mé%	0,10	0,05	0,03	0,01	
	Na	mé%	0,02	0,01	0,01	0,02	
	Somme des bases	mé%	0,24	0,14	0,23	0,20	
	Capacité d'échange	mé%	30,40	21,20	13,76	11,87	
	Saturation	%	1	1	2	2	
pH	pH eau		5,15	5,00	5,15	5,20	

PROFIL TS. 1

Andosol peu différencié
sur projections acides très récentes

Situation : Sur le bord de la route Antsirabe-Vinaninony, à proximité du village de Tsaramody

Altitude : 2000 mètres

Modelé : Sommet émousé (crête), à pente 10 %, à l'intérieur d'un modelé de dissection accidenté.

Matériau : Projections trachytiques très récentes (holocènes) de 100 cm d'épaisseur, reposant sur un paléosol développé sur basalte ancien

Régime hydrique : Bon drainage

Description :

- 0 - 30 cm Noir et tachant à l'état humide, brun-grisâtre clair (10 YR 6/2) et poussiéreux (cendreaux) à l'état sec. Pas de taches. Très nombreuses racines. Très friable. et poreux. Structure polyédrique fine, fragile. Texture limoneuse, sans éléments grossiers. Limite distincte à nette.
- 30 - 70 cm Brun-jaunâtre clair (10 YR 6/4 à l'état sec). Très friable et très poreux. Présence de nombreux morceaux de ponce trachytique altérée, bien reconnaissable. Structure peu développée. Texture limono-sableuse. Limite distincte.
- 70 - 100 cm Projections trachytiques ponceuses de 1 à 10 cm de large, non ou faiblement soudées entre elles. Teinte d'ensemble crème. Friable et poreux. Limite nette (discontinuité).

Plus de 100 cm : Sol rouge argileux structuré enterré sur basalte ancien.

N° ECHANTILLON			TF.11	TF.12		
PROFONDEUR cm			0-30	30-70		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	24,85	16,26		
	à pF 3,0	%	44,21	33,28		
	à pF 2,5	%				
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	30,8	18,1		
	Limon fin (2-20μ)	%	30,4	26,6		
	Limon grossier (20-50μ)	%	17,1	15,6		
	Sable fin (50-200μ)	%	12,2	17,5		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	9,5	22,2		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	10,24	2,97		
	Carbone	%	5,94	1,72		
	Azote total	%	4,96	1,77		
	Rapport C/N		12	10		
PHOSPHORE	Total	ppm	1303	1299		
	Assimilable (Olsen)	ppm	103	102		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	2,27	1,71		
	Mg	mé%	1,38	2,18		
	K	mé%	0,07	0,05		
	Na	mé%	0,06	0,07		
	Somme des bases	mé%	3,78	4,01		
	Capacité d'échange	mé%	26,52	19,85		
	Saturation	%	14	20		
pH	pH eau		5,40	5,60		

PROFIL IT. 1

Andosol peu différencié
sur projections basiques très récentes

Situation : Région volcanique de l'Itasy. Concession "Micoïn-Pochard",
entre Analavory et Ampefy, à 150 mètres de la route

Altitude : 1250 mètres

Modellé : Légère cuvette encastrée entre des cônes volcaniques et des
massifs granitiques (cuvette non fermée, absence de cours d'eau
central), pente 2 %

Matériau : Projections scoriacées (lapilli) basaltiques

Régime hydrique : Excellent drainage

Description :

0 - 20 cm : Noir. Limoneux. Poussiéreux et gris à l'état
sec. Très friable

20 - 50 cm : Brun très foncé à noirâtre. Limoneux. Friable.
Humide.

Plus de 50 cm : Scories (0,5 à 2 cm) jaunes, légèrement altérées,
humides.

N° ECHANTILLON			IT 11	IT 12			
PROFONDEUR			0-20	20-50			
HUMIDITE	à pF 4,2	%	17,60	12,89			
	à pF 3,0	%	44,47	29,60			
	à pF 2,5	%	49,06	33,15			
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	24,6	15,1			
	Limon fin (2-20μ)	%	27,4	17,8			
	Limon grossier (20-50μ)	%	11,4	8,6			
	Sable fin (50-200μ)	%	15,7	22,9			
	Sable grossier (200-2000μ)	%	20,9	35,6			
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	10,38	7,05			
	Carbone	%	6,02	4,09			
	Azote total	‰	4,41	3,12			
	Rapport C/N		14	13			
PHOSPHORE	Total	ppm	1309	1296			
	Assimilable (Olsen)	ppm	287	150			
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	9,10	4,50			
	Mg	mé%	2,25	1,09			
	K	mé%	0,99	0,47			
	Na	mé%	0,04	0,04			
	Somme des bases	mé%	12,38	6,10			
	Capacité d'échange	mé%	36,00	24,06			
	Saturation	%	34	25			
pH	pH eau		5,75	5,45			

PROFIL BT. 2

Andosol peu différencié
sur projections basiques très récentes

Situation : 5 km au SE de Bétafo. Bordure de la route Antsirabe-Bétafo.

Altitude : 1560 mètres

Modèle : Piémont de cône volcanique (Antsifotra). Pente 8%.
Culture de maïs

Matériau : Projections volcaniques scoriacées basaltiques (holocène)

Régime hydrique : Excellent drainage

Description :

0 - 80 cm : Noirâtre (humide), gris (sec). Cendreuse et poussiéreuse à l'état sec. Limoneux. Très friable. Humide. Homogène.

80 - 100 cm : Brun-ocre. Limoneux. Humide. Friable.

100- 120 cm : Gravieres de scories de couleur ocre-jaune, alternés avec des lits noirs.

N° ECHANTILLON			BT 21	BT 22	BT 23		
PROFONDEUR cm			0-80	80-100	100-200		
HUMIDITE	à pF 4,2	%	24,91	28,72	33,63		
	à pF 3,0	%	56,54	60,35	61,94		
	à pF 2,5	%	61,36	65,43	65,92		
GRANULOMETRIE	Argile (0-2μ)	%	24,2	21,0	13,7		
	Limon fin (2-20μ)	%	35,1	37,9	35,6		
	Limon grossier (20-50μ)	%	11,7	11,0	10,6		
	Sable fin (50-200μ)	%	11,9	11,6	15,5		
	Sable grossier (200-2000μ)	%	17,1	18,5	24,6		
MATIERE ORGANIQUE	Matière organique	%	11,71	12,43	10,31		
	Carbone	%	6,79	7,21	5,98		
	Azote total	%	4,51	4,84	3,99		
	Rapport C/N		15	15	15		
PHOSPHORE	Total	ppm	2513	2528	2443		
	Assimilable (Olsen)	ppm	330	275	165		
COMPLEXE ABSORBANT	Ca	mé%	8,50	9,90	7,70		
	Mg	mé%	2,54	3,10	2,15		
	K	mé%	0,24	0,07	0,06		
	Na	mé%	0,06	0,09	0,13		
	Somme des bases	mé%	11,34	13,16	10,04		
	Capacité d'échange	mé%	44,46	47,47	45,51		
	Saturation	%	26	28	22		
pH	pH eau		5,50	5,85	6,15		